U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

national highway institute

Transportation Construction Quality Assurance

Reference Manual

ACCREDITED IACET PROVIDER

June 2008

N.º DE PUBLICACIÓN FHWA-NHI- 08-067
FHWA-NHI- 134064(A)

ÍNDICE

Índice

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

Introducción

0.1 - Antecedentes 0-3

Capítulo 1 - Garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte

1.1 - Calidad 1-3
1.2 - Gestión de la calidad total (TQM) 1-4
1.3 - Enfoque nacional sobre la TQM en la construcción de infraestructuras de transporte 1-6
1.4 - Garantía de calidad (QA) 1-9
1.5 - Componentes principales del aseguramiento de la calidad 1-11
1.6 - Implementación del control de calidad 1-15
1.7 - Desmontando algunos mitos sobre el control de calidad 1-22

Capítulo 2: Elementos del programa de garantía de calidad

2.1 - Descripción general del programa de garantía de calidad en la construcción 2-3
2.2 - Control de calidad 2-6
2.3 - Aceptación 2-9
2.4 - Garantía independiente 2-14
2.5 - Resolución de disputas 2-18
2.6 - Acreditación y cualificación de laboratorios 2-20
2.7 - Cualificación/certificación del personal 2-22
2.8 - Documentación del programa de garantía de calidad 2-25

Capítulo 3: La evolución de las especificaciones de garantía de calidad

3.1 - Lograr la calidad con especificaciones 3-3
3.2 - Especificaciones de métodos 3-6
3.3 - Especificaciones de resultados finales 3-10
3.4 - Especificaciones de garantía de calidad 3-13
3.5 - Especificaciones relacionadas con el rendimiento 3-19
3.6 - Especificaciones basadas en el rendimiento 3-25
3.7 - Desarrollo de especificaciones de garantía de calidad 3-27
3.8 - Resumen de las especificaciones de construcción de transporte 3-36

Capítulo 4: Fundamentos de la medición de la calidad

4.1 - Descripción general de la medición de la calidad 4-3
4.2 - Medición de la calidad mediante inspección 4-7
4.3 - Medición de la calidad mediante pruebas 4-16
4.4 - Uso del muestreo para la inspección y las pruebas 4-23
4.5 - Muestreo sesgado 4-32
4.6 - Muestreo aleatorio 4-37
4.7 - Calidad de los materiales y variabilidad inherente 4-39
4.8 - Objetivos y límites de prueba basados en la distribución normal 4-46
4.9 - Validez de los datos de muestreo 4-52
4.10 - Protocolos de muestreo para abordar situaciones específicas 4-55
4.11 - Repetición del muestreo y nuevas pruebas 4-60

Capítulo 5: Funciones y responsabilidades del control de calidad del contratista

5.1 - Descripción general de las funciones y responsabilidades del control de calidad del contratista 5-3
5.2 - Requisitos de la organización de control de calidad 5-7
5.3 - Documentos operativos de control de calidad 5-19
5.4 - Requisitos del plan de control de calidad 5-22
5.5 - Inspección visual para el control de calidad 5-30
5.6 - Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad 5-42
5.7 - Actividades de control de calidad en las instalaciones de producción 5-52
5.8 - Actividades de control de calidad sobre el terreno 5-58
5.9 - Registros de control de calidad 5-64

Capítulo 6 - Funciones y responsabilidades de aceptación de la agencia

6.1 - Descripción general de la función y las responsabilidades de aceptación 6-3
6.2 - Requisitos de la organización de aceptación 6-9
6.3 - Revisión y aprobación del plan de control de calidad 6-23
6.4 - Supervisión de las actividades de control de calidad del contratista 6-28
6.5 - Actividades de inspección de aceptación 6-31
6.6 - Requisitos de muestreo y pruebas de aceptación 6-35
6.7 - Actividades de aceptación en las instalaciones de producción 6-45
6.8 - Actividades de aceptación sobre el terreno 6-50
6.9 - Aceptación del trabajo completado 6-54
6.10 - Determinación del pago al contratista 6-65
6.11 - Registros de aceptación 6-71

Capítulo 7 - Términos y reglas matemáticas clave

7.1 - Media 7-3
7.2 - Desviación 7-5
7.3 - Rango 7-7
7.4 - Varianza 7-9
7.5 - Desviación estándar 7-11
7.6 - Precisión, exactitud y sesgo 7-13
7.7 - Repetibilidad y reproducibilidad 7-18
7.8 - Cifras significativas 7-21
7.9 - Redondeo 7-30

Capítulo 8: Herramientas matemáticas para el control de calidad

8.1 - Uso de números aleatorios 8-3
8.2 - Uso de la media 8-12
8.3 - Rango de datos 8-14
8.4 - Distribución de los datos de la muestra 8-17
8.5 - Distribuciones normales 8-20
8.6 - Uso de la desviación estándar y la dispersión de los datos 8-24
8.7 - Análisis del nivel de calidad 8-33

Capítulo 9: Aplicaciones para el control de calidad

9.1 - Gráficos de control 9-3
9.2 - Gráficos de control que utilizan valores individuales 9-6
9.3 - Gráficos de control utilizando subgrupos de datos 9-12
9.4 - Límites para gráficos de control utilizando subgrupos de datos 9-16
9.5 - Evaluación de gráficos de control 9-28
9.6 - Aplicación de QLA para el control de calidad 9-36

Capítulo 10 - Aplicaciones para la aceptación y el pago

10.1 - Objetivos y límites de calidad utilizados para la aceptación 10-3
10.2 - Correlación de los datos de las pruebas 10-8
10.3 - Validación de los datos de control de calidad utilizados en la determinación de la aceptación 10-18
10.4 - Uso de PWL para calcular los factores de pago 10-31
10.5 - Uso de factores salariales compuestos 10-36
10.6 - Determinación del ajuste salarial 10-39

Capítulo 11: Escenarios de proyectos de garantía de calidad

11.1 - Contenido y requisitos del plan de control de calidad 11-3
11.2 - Responsabilidades de control de calidad 11-10
11.3 - Responsabilidades de aceptación 11-17
11.4 - Protocolos de muestreo 11-23
11.5 - Variabilidad inherente y curva de distribución normal 11-30
11.6 - Gráficos de control 11-34
11.7 - Correlación y validación de los resultados de las pruebas 11-39

Apéndice A - Glosario de términos **A-1**

Apéndice B: Conversiones métricas **B-1**

Apéndice C: Apoyo de las agencias y la industria para el aseguramiento de la calidad

C-1 - Apoyo conjunto de la agencia y la industria: el tercer ingrediente de la gestión de la calidad total C-3
C-2 - Estado de la implementación del aseguramiento de la calidad C-4
C-3 - Costes del aseguramiento de la calidad C-6
C-4 - Preocupaciones de la agencia y los contratistas sobre el aseguramiento de la calidad C-7
C-5 - Comentarios positivos y conclusiones sobre el control de calidad C-10
C-6 - Uso de ajustes salariales en el aseguramiento de la calidad C-13
C-7 - Compromiso con el aseguramiento de la calidad C-15
C-8 - Formación en garantía de calidad C-16
C-9 - Comunicación en el aseguramiento de la calidad C-18
C-10 - Financiación para el aseguramiento de la calidad C-19
C-11 - Colaboración C-20
C-12 - Resumen del apoyo al aseguramiento de la calidad C-24

Apéndice D - Ejemplo de programa de cualificación de laboratorios D-1

Apéndice E: Requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad E-1

Apéndice F: «Plan modelo de control de calidad» típico F-1

Apéndice G: Ejemplos de formularios estándar para informes de pruebas G-1

Apéndice H: FHWA RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad (solo apéndice F) H-1

- FIN DEL ÍNDICE -

INTRODUCCIÓN

Garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte

Introducción

Resumen

En esta introducción se presenta la siguiente información sobre el curso y otros datos relacionados:

0.1 - Antecedentes

0.1 - Antecedentes

Necesidad de garantizar la calidad de la construcción

La construcción de todas las instalaciones de transporte requiere mano de obra cualificada, equipos adecuados y materiales y mano de obra adecuados. Una vez que la mano de obra y los equipos han completado su trabajo, los materiales permanecen en su lugar y constituyen terraplenes, pavimentos, pistas, puentes e instalaciones relacionadas. El control de calidad de la construcción (QA) tiene por objeto satisfacer tres necesidades principales de los usuarios:

Brooklyn Bridge circa 1900. Image from Library of Congress LC-USZ62-4614

1) Instalaciones duraderas
2) Uso eficaz de los fondos públicos
3) Instalaciones seguras

Las instalaciones de transporte duraderas solo pueden lograrse si los materiales utilizados cumplen con el nivel de calidad especificado. Los procedimientos de garantía de calidad de la construcción claramente definidos proporcionan el mecanismo para que los contratistas y las agencias logren las instalaciones de calidad que esperan nuestros clientes.

Una calidad de construcción inadecuada puede resultar muy costosa tanto para los contratistas como para el público. Durante una inspección de mantenimiento rutinaria realizada en 2005 en el puente I-94 Hudson sobre el río St. Croix, el Departamento de Transporte de Wisconsin (WisDOT) descubrió graves deficiencias, a pesar de que recientemente se había completado la sustitución del tablero del puente por un coste de 7,9 millones de dólares. Durante las reparaciones posteriores del puente, el WisDOT identificó pruebas adicionales de la mala calidad del trabajo del contratista y la supervisión insuficiente por parte de una empresa consultora de inspección. El WisDOT solicitó el reembolso de más de 2,8 millones de dólares en pagos realizados al contratista y al consultor. Este incidente dañó la confianza del público en la capacidad del gobierno para supervisar eficazmente los proyectos de construcción y garantizar el uso eficaz de los fondos de los contribuyentes.

La calidad de la construcción también es fundamental para proporcionar instalaciones de transporte seguras. Los requisitos de garantía de calidad específicos de cada proyecto deben diseñarse, implementarse y ejecutarse adecuadamente para garantizar que se satisfagan las necesidades de los usuarios. Los recientes fallos en algunos proyectos de gran repercusión han planteado serias dudas sobre si se aplicaron o ejecutaron las medidas adecuadas para garantizar las necesidades de los usuarios. Un ejemplo muy publicitado de ello es la muerte en julio de 2006 de un automovilista como consecuencia del derrumbe parcial del techo de un túnel en la Interestatal 90 en Boston, Massachusetts. Acontecimientos como este ponen de relieve el importante papel que debe desempeñar el control de calidad a lo largo del diseño, el desarrollo y la ejecución de los proyectos de construcción de infraestructuras de transporte.

Necesidad de formación y certificación en garantía de calidad

Los ejemplos anteriores, aunque extremos, ilustran la importancia fundamental de un control de calidad sólido en la construcción. Como se explica con más detalle en este manual, un programa de control de calidad y unas especificaciones de control de calidad son componentes esenciales de la implementación del control de calidad en la construcción. Uno de los seis elementos básicos de un programa completo de control de calidad es ***la cualificación/certificación del personal***. Muchos estados y regiones han reconocido la importancia de la formación y la cualificación/certificación de los contratistas y las agencias.
para lograr la calidad. Este personal incluye a los responsables de los proyectos de construcción, así como al personal que realiza inspecciones, muestreos y pruebas.

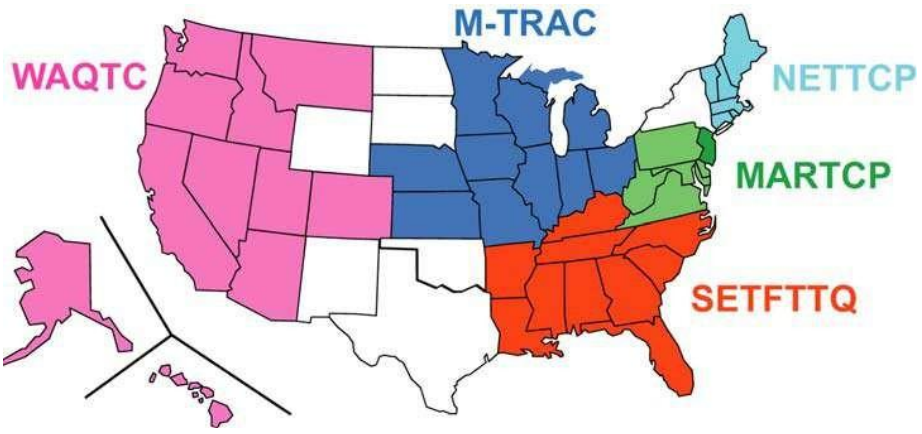
La falta de comprensión por parte del personal de la agencia y de la industria de sus funciones y responsabilidades en materia de garantía de calidad puede, como mínimo, dar lugar a una experiencia de trabajo desagradable y, lo que es peor, puede provocar disputas innecesarias o pérdidas económicas injustas para cualquiera de las partes. La formación y la cualificación/certificación de todo el personal de la agencia y de los contratistas responsable de interpretar y aplicar las especificaciones de garantía de calidad facilitará una aplicación más uniforme de los requisitos de garantía de calidad y reducirá o eliminará estas situaciones indeseables.

Requisitos federales de garantía de calidad

La normativa federal sobre ***procedimientos de garantía de calidad para la construcción*** (23 CFR 637), publicado en junio de 1995, exige que las agencias estatales de transporte cuenten con un programa de control de calidad para garantizar la calidad de los materiales y la mano de obra en los proyectos de construcción de carreteras con ayuda federal. Los requisitos del programa de control de calidad identificados en la normativa incluyen: sistemas de aceptación de la agencia; garantía independiente; resolución de disputas; acreditación y cualificación de laboratorios; y cualificación del personal. Para cumplir los requisitos de personal cualificado, las agencias estatales han desarrollado (ya sea de forma individual o regional) programas formales de «cualificación» o «certificación» de técnicos e inspectores.

Organizaciones regionales de formación y cualificación

Entre 1994 y 2000, se crearon cinco (5) organizaciones regionales en los Estados Unidos para abordar la formación y la cualificación del personal involucrado en la construcción de carreteras y las actividades relacionadas con los materiales. Estas organizaciones incluyen: Programa de Certificación de Técnicos de Transporte de Nueva Inglaterra (NETTCP); Programa de Certificación de Técnicos de la Región del Atlántico Medio (MARTCP); Grupo de Trabajo del Sureste sobre Formación y Cualificación de Técnicos (SETFTTQ); el Programa Multirregional de Formación y Certificación del Centro-Norte (M-TRAC); y la Alianza Occidental para la Calidad en la Construcción de Transportes (WAQTC).
El liderazgo de las organizaciones regionales ha sido proporcionado por las agencias estatales y la Administración Federal de Carreteras (FHWA), en colaboración con la industria y el mundo académico. Su enfoque inicial se centró en la formación y cualificación del personal encargado de las pruebas y las inspecciones.



Evolución del curso de garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte

En 1997, los representantes de la agencia, la industria y el mundo académico del NETTCP identificaron la necesidad de un curso de formación/certificación en garantía de calidad para el personal de construcción y materiales. En un esfuerzo simultáneo, la FHWA esbozó necesidades de formación similares en materia de garantía de calidad a principios de 1998.

Para ayudar a satisfacer las necesidades comunes de los estados y las regiones en materia de cursos de formación y cualificación, en septiembre de 2000 se creó el ***Consejo de Coordinación de Planes de Estudios de Transporte*** (TCCC). La FHWA lideró la creación el TCCC y, en la actualidad, esta asociación incluye a representantes de la FHWA, la AASHTO, las cinco organizaciones regionales de formación y cualificación, los distintos estados y la industria.

En 2004, los miembros del TCCC identificaron la necesidad de un curso de garantía de calidad en la construcción con fines de formación y certificación. Tras una revisión por pares del material didáctico específico para cada región sobre el control de calidad NETTCP, la FHWA y el TCCC acordaron convertir el material en un curso estándar de formación sobre control de calidad que se impartiría a través del ***Instituto Nacional de Carreteras*** (NHI). Este esfuerzo dio como resultado el desarrollo final del curso ***de control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte*** del NHI.

NATIONAL HIGHWAY INSTITUTE

- FIN DE LA INTRODUCCIÓN -

CAPÍTULO 1

Aseguramiento de la calidad en la construcción de transporte

Capítulo 1

Aseguramiento de la calidad en la construcción de infraestructuras de transporte

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan los siguientes antecedentes, términos y conceptos relacionados con el aseguramiento de la calidad:

1.1 - Calidad del ciclo de vida ( )

1.2 - Gestión de la calidad total (, TQM)

1.3 - Enfoque nacional sobre la gestión de la calidad total en la construcción de infraestructuras de transporte

1.4 - Garantía de calidad en la construcción de carreteras (QA)

1.5 - Componentes principales del aseguramiento de la calidad

1.6 - Implementación del aseguramiento de la calidad

1.7 - Desmontando algunos mitos sobre el aseguramiento de la calidad

1.1 - Calidad

El término ***calidad*** no es nuevo en el sector del transporte. Las agencias de transporte siempre han apostado por la calidad y se han esforzado por hacer el mejor trabajo posible con las herramientas y los recursos disponibles. Sin embargo, para realizar mejoras rentables en la construcción de infraestructuras de transporte, es necesario definir y comprender a fondo el término de calidad.

Definición de calidad

Lamentablemente, no existe un consenso claro sobre la definición de calidad dentro de la comunidad del transporte. Aunque existen definiciones o percepciones de la calidad, estas varían de una organización a otra y dependen del papel que desempeñe la organización en la producción del producto final. La Circular de Investigación sobre Transporte número E-C037 (abril de 2002), *Glosario de términos de garantía de calidad de las carreteras,* define la calidad de la siguiente manera:

> **Calidad**: «(1) El grado de excelencia de un producto o servicio; (2) El grado en que un producto o servicio satisface las necesidades de un cliente específico; o (3) El grado en que un producto o servicio se ajusta a un requisito determinado».

En su libro *Quality is Free* (La calidad es gratuita), el reconocido autor sobre gestión de la calidad Philip B. Crosby ofrece la siguiente definición sencilla de calidad:

> **Calidad**: «Conformidad con los requisitos».

La calidad la definen nuestros clientes. Como se explicará más adelante, el nivel de calidad especificado debe estar relacionado con el rendimiento del producto que esperan nuestros clientes. El nivel de conformidad con los requisitos de los clientes es la medida de la calidad.

1.2 - Gestión de la calidad total

Antecedentes de la gestión de la calidad total

Probablemente, la mayoría de las personas estén familiarizadas con el término ***«gestión de la calidad total»*** (TQM, por sus siglas en inglés). A veces también se denomina «mejora continua de la calidad» (CQI, por sus siglas en inglés), «mejora continua de los procesos» (CPI, por sus siglas en inglés) o, simplemente, «gestión de la calidad». La TQM ofrece un enfoque más completo y eficaz para mejorar la Calidad global de un producto o servicio. Los principios de la gestión de la calidad total (TQM) surgieron en la industria manufacturera japonesa a principios de la década de 1950, bajo las enseñanzas del Dr. W. Edwards Deming y el Dr. Joseph Juran. Deming y Juran, junto con los «expertos en calidad» Dr. Armand Feigenbaum y Philip Crosby, son generalmente reconocidos como los principales y más influyentes pioneros de la calidad que introdujeron y promovieron la TQM en la industria estadounidense durante la década de 1980. Aunque el término TQM parece haber caído en desuso en los últimos años, sus principios siguen siendo extremadamente relevantes y continúan aplicándose en muchos sectores.

Existe la percepción de que la TQM está destinada únicamente a la industria manufacturera. Sin embargo, esto es inexacto. Los principios de la TQM se pueden aplicar a prácticamente cualquier industria u organización, incluida la construcción. Lamentablemente, la industria de la construcción se quedó inicialmente rezagada con respecto a otras industrias en la aplicación de los principios de la TQM. En 1992, el Construction Industry Institute (Austin, Texas) y la Associated General Contractors of America (AGC) publicaron documentos para abordar la aplicación de la TQM en la construcción.

Definición de gestión de la calidad total

En lo que se refiere a la industria de la ingeniería del transporte y la construcción, la AGC ha definido la TQM de la siguiente manera:

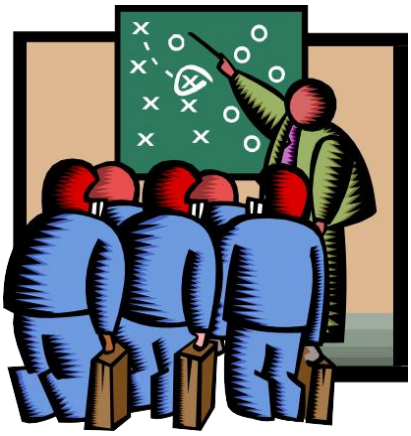
> **Gestión de la calidad total**: «Un proceso de mejora continua para satisfacer las necesidades de los clientes, una filosofía de hacer lo correcto a la primera».

Esta definición puede utilizarse para representar todos los aspectos de la producción y aceptación de un producto de calidad. El objetivo general de la gestión de la calidad total es prevenir los errores antes de que se produzcan. En consecuencia, la gestión de la calidad total en la construcción de infraestructuras de transporte requiere un nuevo enfoque de los materiales y los programas de construcción, así como de las responsabilidades correspondientes de las agencias de transporte y los contratistas.

Objetivos de la gestión de la calidad total

Los objetivos generales de la TQM en la construcción de infraestructuras de transporte son construir:

- Instalaciones de transporte que tengan una vida útil real superior o igual a la vida útil prevista en el diseño.
- Instalaciones de transporte que tengan una capacidad de servicio real superior o igual al rendimiento previsto.
- Instalaciones de transporte que tengan un coste total real que se acerque al coste mínimo del ciclo de vida.



Nuestra labor consiste en proporcionar al usuario del transporte (cliente) un producto de la mayor calidad posible al menor coste razonable. Para ello, es necesario un doble esfuerzo por parte de la industria y la agencia, que deben trabajar juntas en colaboración.

1.3 - Enfoque nacional en la gestión integral de la calidad (TQM) en la construcción de

Iniciativa nacional de calidad

Los principios de la gestión de la calidad total (TQM) se trasladaron al sector de la construcción de infraestructuras de transporte gracias a la orientación proporcionada por la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) y la Administración Federal de Carreteras (FHWA). La ***Iniciativa Nacional de Calidad*** fue el resultado de un taller celebrado en diciembre de 1990 y patrocinado por el Proyecto de Demostración n.º 89 (DP-89) de la FHWA, titulado «Gestión de la calidad». Los representantes de las agencias estatales de transporte, el mundo académico y industria que asistieron al taller DP-89 recomendaron el desarrollo de una iniciativa nacional sobre calidad.

En junio de 1991, la AASHTO Comité Permanente de Carreteras votó a favor de respaldar una iniciativa nacional de calidad y nombró un grupo de trabajo para que colaborara en una iniciativa conjunta.
Comité directivo de AASHTO/FHWA/Industria para orientar la iniciativa. En consecuencia, en enero de 1992 se creó el primer Comité Directivo de la Iniciativa Nacional de Calidad (NQI) con el mandato de centrar la atención nacional y orientar los esfuerzos futuros para promover la mejora continua de la calidad de la construcción de carreteras. El Comité Directivo inicial de la NQI incluía a AASHTO, FHWA y seis organizaciones industriales. Más tarde se unieron otras organizaciones.

Política nacional sobre la calidad de las carreteras

El 10 de noviembre de 1992 se celebró en Dallas, Texas, el primer seminario de la NQI titulado «Alianzas para la calidad». El objetivo del seminario era garantizar que los altos directivos de las agencias de transporte y de la industria estuvieran de acuerdo con los conceptos generales de gestión de la calidad total (TQM) adoptados por el comité directivo de la NQI y reafirmar el compromiso y el apoyo de estos líderes de las agencias y la industria a los futuros esfuerzos para promover la calidad. Para ayudar a articular los principios de calidad específicos de la NQI, se presentó la ***Política Nacional sobre la Calidad de las Carreteras*** en el seminario Alianzas para la Calidad y fue firmada por cada una de las organizaciones miembros de la NQI. Cuatro de los seis principios contenidos en la *Política Nacional*, que se refieren directamente a nuestro trabajo en la construcción de transporte, son los siguientes:

Asociación Nacional para la Calidad de las Carreteras

La ***Asociación Nacional para la Calidad de las Carreteras*** (NPHQ) surgió como sucesora de la antigua Iniciativa Nacional de Calidad en el taller final de la NQI celebrado el 15 de noviembre de 2000.

La misión principal de la NPHQ es defender las demandas de los usuarios de las carreteras mediante la promoción de prácticas y programas que garanticen que nuestras autopistas funcionen al máximo rendimiento ahora y en el futuro. Los seis objetivos de la NPHQ son:

1) Establecer un programa estatal eficaz de calidad de las carreteras (SQP) (versión local y reducida de la NPHQ) en cada estado.

2) Utilizar eficazmente la colaboración en cada fase de la ejecución de todos los proyectos importantes en todos los estados.

3) Lograr el reconocimiento nacional como líder en la difusión de métodos para mejorar la calidad en la ejecución de proyectos, la seguridad del tráfico y las zonas de trabajo, el mantenimiento y el funcionamiento de las autopistas y calles.

4) Mantener un programa de comunicación eficaz.

5) Garantizar una plantilla adecuada con una fuerte orientación hacia la calidad en el sector de las autopistas.

6) Implementar medidas objetivas para mejorar la calidad y la satisfacción del cliente.

Para obtener más información sobre la NPHQ, visite http://www.nphq.org

1.4 - Garantía de calidad

Definición de garantía de calidad

El término ***Garantía de Calidad***» (QA) se ha aplicado en la construcción de infraestructuras de transporte desde al menos la década de 1960. Muchas agencias de transporte de Estados Unidos practicaban la «Garantía de Calidad» en distintos niveles antes de la aparición de la gestión de calidad total (TQM) en la década de 1980. Sin embargo, lo que ha evolucionado a través de la NQI, la *Política Nacional sobre la Calidad de las Carreteras* y ahora la NPHQ, es una definición más clara de la calidad y un mejor modelo de garantía de calidad para la industria del transporte basado en los principios de la TQM.

La AASHTO, el Instituto Nacional Estadounidense de Normalización (ANSI), la Sociedad Estadounidense para el Control de Calidad (ASQC), el Programa Nacional Cooperativo de Investigación en Carreteras (NCHRP) y la Junta de Investigación del Transporte (TRB) han trabajado para desarrollar y adoptar una definición formal de garantía de calidad. La Circular E-074 de la TRB (mayo de 2005) define la garantía de calidad de la siguiente manera:

> **Garantía de calidad**: «Todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la confianza de que un producto o una instalación funcionarán satisfactoriamente en servicio».

En términos más sencillos, el aseguramiento de la calidad se puede definir de la siguiente manera:

> **Garantía de calidad**: «Asegurarse de que la calidad de un producto es la que debe ser».

Uso adecuado del término «garantía de calidad»

Hoy en día, el aseguramiento de la calidad es un término que lo abarca todo y que incluye el control de calidad (QC) por parte del contratista, la aceptación por parte de la agencia, el aseguramiento independiente (IA), la resolución de disputas y el uso de laboratorios y personal cualificados por ambas partes. Además, el aseguramiento de la calidad requiere el apoyo conjunto de la agencia y la industria, así como la implementación de especificaciones de aseguramiento de la calidad. Este modelo mejorado de aseguramiento de la calidad ha sido aceptado por la AASHTO y la FHWA.

Tal y como se indica en el *Manual de implementación para el aseguramiento de la calidad de la AASHTO*, el término «control de calidad/aseguramiento de la calidad» o «QC/QA» se ha utilizado a menudo en el pasado como sinónimo de «aseguramiento de la calidad». El término QC/QA ha sido aplicado históricamente por algunas agencias de transporte en las que el control de calidad se consideraba responsabilidad del contratista y el aseguramiento de la calidad, responsabilidad de la agencia. Sin embargo, como se explicará más adelante, el control de calidad no es una función separada del aseguramiento de la calidad, sino que es uno de los elementos centrales de un programa de aseguramiento de la calidad.

De acuerdo con la definición anterior proporcionada por AASHTO, ANSI, ASQ y NCHRP, el término QC/QA ya no se utiliza. En consecuencia, se considera que el término adecuado es Aseguramiento de la Calidad o, simplemente, QA, y es el que se utiliza a lo largo de este curso.

Garantía de calidad (QA)

1.5 - Componentes principales del aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la construcción de infraestructuras de transporte no ha sido sustituido por la gestión de la calidad total (TQM), sino que se ha redefinido y mejorado gracias a su aplicación. Como se ha expuesto anteriormente, la TQM en la construcción de infraestructuras de transporte busca alcanzar la calidad mediante la mejora continua de los procesos. Al aplicar el enfoque de la TQM a la construcción de infraestructuras de transporte, ha surgido un nuevo modelo de aseguramiento de la calidad. Este nuevo modelo reconoce que la implementación exitosa del aseguramiento de la calidad requiere tres componentes esenciales:

1. **Apoyo conjunto de las agencias y la industria**
2. **Programa de garantía de calidad**
3. **Especificaciones de garantía de calidad**

Es importante comprender que cada uno de estos componentes es claramente independiente, pero interdependiente. Aunque cualquiera de los componentes individuales puede existir sin los otros dos, la ausencia de cualquiera de ellos dará lugar a un programa incompleto y, en última instancia, ineficaz. En resumen, si una agencia y sus socios industriales no cuentan con los tres componentes principales, no están realmente practicando el control de calidad Garantía. A continuación se explica brevemente la función de cada uno de estos componentes principales de la garantía de calidad se explica brevemente a continuación.

Apoyo conjunto de la agencia y la industria para el aseguramiento de la calidad

El primer componente -***el apoyo conjunto de las agencias y la industria***- es esencial para la implementación exitosa del control de calidad. Como indica el gráfico anterior, el apoyo conjunto de las agencias y la industria sirve de base para los otros dos componentes del control de calidad. Lamentablemente, este componente a veces se da por sentado o se pasa por alto. El apoyo conjunto de las agencias y la industria incluye:

- Compromiso
- Formación
- Comunicación
- Financiación

En el centro del apoyo conjunto de las agencias y la industria se encuentra el compromiso del personal de todos los niveles de cada organización. También es necesario un apoyo tangible en forma de financiación, formación y comunicación por parte tanto de la agencia como de la industria. La ausencia de cualquiera de estos elementos debilitará la implementación y la aplicación continua del aseguramiento de la calidad. En el apéndice C se ofrece una descripción más detallada del apoyo conjunto de la agencia y la industria se presenta en **el Apéndice C**.

Programa de garantía de calidad

El segundo componente -Un ***Programa de Garantía de Calidad-*** de la construcción, establece los elementos programáticos básicos necesarios para lograr materiales y mano de obra de calidad. El programa de garantía de calidad (programa QA) sirve como esqueleto o marco general necesario para la implementación de la garantía de calidad en la construcción implementación del aseguramiento de la calidad en la construcción y delimita claramente las funciones y responsabilidades adecuadas de la agencia y la industria para lograr la calidad. También identifica los requisitos específicos para la cualificación de los laboratorios y el personal de la agencia y la industria.

Cada agencia debe contar con un Programa de Garantía de Calidad aprobado por escrito. El contenido del Programa de Garantía de Calidad debe compartirse con todo el personal de construcción y materiales de la agencia, así como con el personal del contratista.

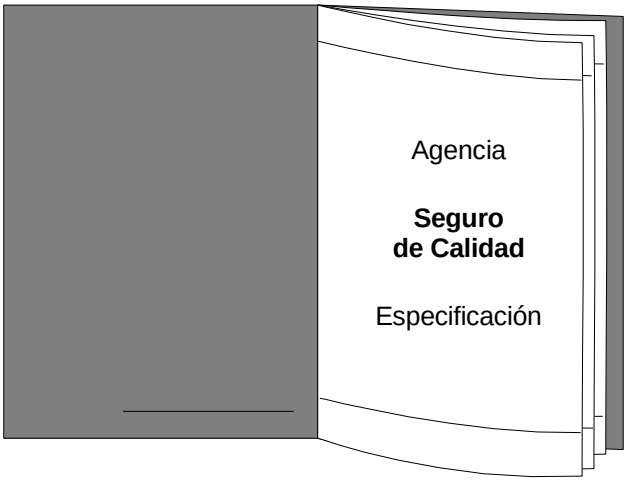
Los elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad incluyen:

- Control de calidad del contratista
- Aceptación de la agencia
- Garantía independiente de la agencia
- Resolución de disputas
- Acreditación y cualificación del laboratorio
- Cualificación/certificación del personal

Cada uno de estos elementos del Programa de garantía de calidad se presenta en el capítulo 2.

Especificaciones de garantía de calidad

El tercer componente -***Las Especificaciones de Garantía de Calidad***- proporciona las instrucciones específicas del proyecto para aplicar la garantía de calidad en la producción y colocación de materiales de construcción individuales. No deben confundirse con el programa de garantía de calidad, ya que son dos componentes de garantía de calidad separados, pero relacionados. Las especificaciones de garantía de calidad se basan en los elementos del programa de garantía de calidad de una agencia y deben reflejar los requisitos específicos que contienen.



Una especificación de garantía de calidad establece las actividades específicas del contratista y la agencia para garantizar la calidad de los materiales y la mano de obra y, por lo general, determina el pago en función del nivel de calidad de la construcción medido, en lugar de un cumplimiento razonable de los criterios de especificación». Las especificaciones de garantía de calidad deben identificar:

- Las actividades mínimas de control de calidad (CC) que debe realizar el contratista
- Las actividades de aceptación realizadas por la agencia.
- Las características específicas de calidad que se deben medir para el control de calidad y la aceptación
- Los objetivos y límites que se utilizarán para la aceptación del trabajo completado
- Cualquier ajuste salarial relacionado con el nivel de calidad del producto

El desarrollo y la revisión conjuntos de las especificaciones de garantía de calidad deben incluir al personal de la agencia y de la industria (ingenieros, inspectores, técnicos) que sea directamente responsable de la construcción. En el capítulo 3 se ofrece una explicación más detallada de las especificaciones de garantía de calidad y de los pasos necesarios para desarrollarlas adecuadamente.

1.6 - Implementación del aseguramiento de la calidad

Alcance de las actividades de garantía de calidad

Una idea errónea muy extendida entre algunos miembros del personal de agencias e industrias es que el control de calidad solo se aplica a algunos materiales de construcción (por ejemplo, el asfalto mezclado en caliente o el hormigón de cemento Portland). Por el contrario, la implementación completa del control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte requiere el desarrollo de los tres componentes principales del control de calidad (es decir, el apoyo conjunto de las agencias y el sector, un programa de control de calidad y especificaciones de control de calidad) para abordar todos los tipos de materiales de construcción.

Los materiales utilizados en la construcción de infraestructuras de transporte se clasifican en grandes categorías según su origen y los métodos de producción correspondientes. Las tres categorías principales de materiales son las siguientes:

- Materiales producidos por el proyecto
- Materiales estructurales fabricados
- Materiales fabricados estándar

Aunque el control de calidad es pertinente y debe abordarse para cada una de estas categorías de materiales, este manual se centra principalmente en la aplicación del control de calidad a los materiales producidos en el proyecto.

Sin embargo, con el fin de proporcionar una comprensión básica del alcance completo del control de calidad, a continuación se definen y describen brevemente las tres categorías principales de materiales. Las definiciones presentadas figuran en la norma AASHTO R 38 (*Práctica estándar para el control de calidad de los materiales fabricados estándar*).

Materiales producidos en el proyecto

Los materiales producidos para el proyecto se definen de la siguiente manera:

> «Elementos principales producidos directamente para un proyecto de construcción individual, ya sea por un contratista o por un productor de materiales».

Por lo general, se caracterizan por una o varias de las siguientes condiciones:

- El proceso de producción del material se lleva a cabo en el emplazamiento del proyecto o en una planta de producción situada en las proximidades del emplazamiento del proyecto.
- Las propiedades del material están sujetas a una posible contaminación o segregación durante el transporte desde la planta hasta el lugar del proyecto.
- Los materiales llegan y se colocan en el lugar del proyecto en un estado no sólido o en forma de mezcla suelta que requiere una mezcla, compactación, acabado o curado posteriores.

Materiales estructurales fabricados

Los materiales estructurales fabricados se definen de la siguiente manera:

> «Elementos estructurales importantes producidos específicamente para un proyecto de construcción individual por un fabricante de materiales».

Por lo general, se caracterizan por una o más de las siguientes condiciones:

- El proceso de producción del material se lleva a cabo en condiciones controladas en una planta de fabricación establecida, normalmente situada dentro del estado o en otro estado.
- Las propiedades del material son estables y no presentan posibilidad de alteración si se transportan adecuadamente desde el fabricante hasta el lugar del proyecto.
- Los materiales llegan al lugar del proyecto en estado sólido y requieren poco o ningún trabajo adicional después de su instalación.

Materiales fabricados estándar

Los materiales fabricados estándar se definen de la siguiente manera:

> «Artículos estándar que son producidos de forma rutinaria (es decir, no para un proyecto específico) por un fabricante».

Por lo general, se caracterizan por una o más de las siguientes condiciones:

- Los materiales se producen normalmente en masa en condiciones de fabricación altamente controladas y en gran medida automatizadas.
- Las propiedades de los materiales son estables y no tienen potencial de alteración si se transportan adecuadamente desde el fabricante hasta el lugar del proyecto.
- Los materiales llegan al lugar del proyecto en un estado sólido y acabado* y solo requieren instalación (** Nota: Las excepciones a esta condición incluyen materiales como aglutinantes PG, cementos y pinturas/recubrimientos que se incorporan a los materiales producidos en el proyecto o a los materiales estructurales fabricados*).

Ejemplos de materiales por categoría

En la tabla siguiente se presentan algunos ejemplos de materiales producidos en el proyecto, materiales estructurales fabricados y materiales fabricados estándar utilizados en la construcción de infraestructuras de transporte. La lista de elementos de la tabla no es exhaustiva, sino que pretende mostrar los elementos típicos de cada una de las tres categorías principales de materiales.

Abordar el control de calidad para cada categoría de materiales

El control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte incluye los materiales producidos para el proyecto, los materiales estructurales fabricados y los materiales fabricados de forma estándar. En consecuencia, los programas de control de calidad de las agencias suelen identificar los procedimientos específicos de control de calidad necesarios para cada categoría de materiales.

La principal diferencia en la forma en que se aplica el control de calidad a cada categoría de materiales radica en el nivel de inspección y pruebas de aceptación que realiza la agencia. El nivel de las actividades de aceptación de la agencia depende principalmente de la posibilidad de que se produzcan variaciones en las propiedades de los materiales durante los procesos de producción y colocación. Por lo general, las agencias (o sus representantes) realizan inspecciones y pruebas de aceptación a tiempo completo para los materiales producidos en el proyecto y los materiales estructurales fabricados, mientras que para los materiales fabricados de forma estándar, las inspecciones y pruebas de aceptación de la agencia se utilizan con menos frecuencia o con fines de auditoría. Sin embargo, se requieren procedimientos de control de calidad adecuados por parte de todos los contratistas (es decir, contratistas principales, subcontratistas, productores, fabricantes y fabricantes) para todos los materiales, independientemente de la categoría de materiales.

Categoría de materiales	Ejemplos de artículos
Materiales producidos para el proyecto	➢ Movimiento de tierras ➢ Capas de base y subbase ➢ Elementos geotécnicos* ➢ Asfalto mezclado en caliente (HMA)* ➢ Hormigón de cemento Portland (PCC)* ➢ Revestimientos estructurales aplicados in situ* ➢ Marcas viales*
Materiales estructurales fabricados	➢ Acero estructural fabricado y recubrimientos* ➢ Elementos estructurales de hormigón prefabricado/pretensado* (por ejemplo, alcantarillas prefabricadas, vigas de puente pretensadas)
Materiales fabricados estándar	➢ Aglutinantes y cementos (por ejemplo, aglutinante PG, cemento Portland) ➢ Sistemas de drenaje o agua (por ejemplo, tuberías de hierro dúctil, tuberías metálicas corrugadas, tuberías de PVC, hidrantes, compuertas y válvulas, etc.) ➢ Tejidos geotextiles ➢ Artículos de jardinería (por ejemplo, cal, fertilizantes, semillas, mantillo, vallas metálicas, etc.) ➢ Pinturas y recubrimientos (por ejemplo, pinturas para tráfico, perlas de vidrio, marcas preformadas, epoxi, galvanizado con zinc, etc.) ➢ Dispositivos de seguridad vial (por ejemplo, atenuadores de impacto, barreras de seguridad de vigas de acero, postes de madera, etc.) ➢ Elementos prefabricados de hormigón estándar (por ejemplo, tuberías de hormigón, pozos de registro y cajas de conexiones de hormigón, barreras de hormigón, paneles de muro MSE de hormigón, etc.). ➢ Perfiles o productos de acero estándar (por ejemplo, pernos de anclaje, Marcos y rejillas, barras de refuerzo, encofrados fijos, láminas y pilotes, etc. ➢ Dispositivos de control del tráfico (por ejemplo, conductos eléctricos, cabezales de señales , postes de señalización, controladores, señales, etc.).
* Nota: Algunos materiales constituyentes incorporados se evalúan como materiales fabricados estándar.	

Se deben desarrollar programas de garantía de calidad y especificaciones de garantía de calidad de la agencia para identificar los requisitos específicos de garantía de calidad para todos los materiales de cada categoría. Una vez más, la diferencia general en los requisitos para los materiales de cada una de las tres categorías radica en el procedimiento de aceptación específico y en la asignación adecuada del control de calidad a cada contratista.

La práctica estándar R 38 de la AASHTO establece los requisitos mínimos para el control de calidad del fabricante y las directrices para la aceptación por parte de la agencia de los materiales fabricados estándar.

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el objetivo principal de este manual del curso está relacionado con la aplicación del aseguramiento de la calidad a los materiales producidos en el proyecto.

Guía para la implementación del control de calidad

Los siguientes documentos clave fueron elaborados y publicados entre 1994 y 2004 por la NQI, la FHWA y la AASHTO, respectivamente, con el fin de orientar la aplicación de la garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte. Estos documentos incluyen:

- Informe NQI/FHWA n.º SA-94-039: *Informe del Grupo de Trabajo Nacional para la Mejora de la Calidad sobre los procedimientos de garantía de calidad para la construcción de carreteras* (junio de 1994).

- El Código de Regulaciones Federales (23 CFR 637B): *Procedimientos de garantía de calidad para la construcción* (junio de 1995).

- Asesoramiento técnico T6120.3 de la FHWA: *Uso de los resultados de las pruebas de los contratistas en la decisión de aceptación, medidas de calidad recomendadas e identificación de los riesgos de los contratistas/departamentos* (agosto de 2004)

- Subcomité de Construcción de la AASHTO: *Manual de implementación para el aseguramiento de la calidad*

- Subcomité de Construcción de la AASHTO: *Especificación de la guía de garantía de calidad*

- Norma de materiales R 9 de la AASHTO: *Práctica recomendada estándar para planes de muestreo de aceptación en la construcción de carreteras*

- Norma de materiales R 38 de la AASHTO: *Práctica estándar para el aseguramiento de la calidad de los materiales fabricados estándar*

Estos documentos identifican los elementos clave necesarios para un programa de garantía de calidad satisfactorio y los requisitos relacionados con las especificaciones de garantía de calidad. Las agencias y los contratistas pueden encontrar útil la información contenida en los documentos anteriores, así como en este manual del curso, para implementar la garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte.

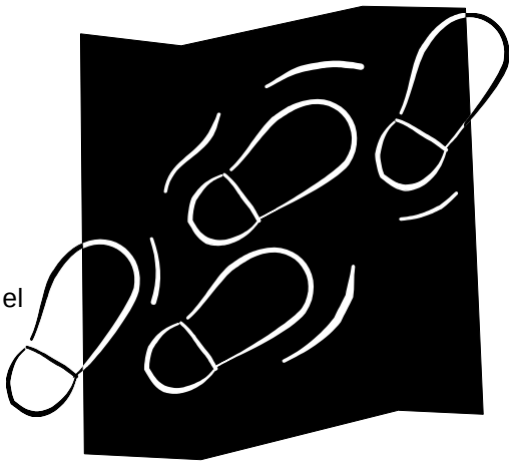
1.7 - Desmontando algunos mitos sobre el aseguramiento de la calidad

Analicemos algunos de los mitos que se han documentado en el pasado en relación con el aseguramiento de la calidad:

Mito n.º 1: hay una reducción de la plantilla de la agencia

Muchas personas piensan que el control de calidad se está implementando con el fin de reducir el número de personal de la agencia y que el control de calidad tiene como objetivo reducir la supervisión y las pruebas de la agencia. Esto no es
no es así. Muchas agencias han perdido personal a lo largo de los años y ahora se enfrentan a la necesidad crítica de maximizar la productividad del personal existente. Un programa de garantía de calidad bien organizado ayudará a satisfacer esta necesidad de utilizar de manera más eficiente al personal existente. Además, la mayoría de las agencias no están observando una reducción neta en el número de técnicos e inspectores necesarios, en general, durante los primeros años tras la implementación de las especificaciones de garantía de calidad. Inicialmente, las agencias no reducen la cantidad ni la frecuencia de las inspecciones y pruebas de aceptación. Simplemente se vuelven más inteligentes a la hora de decidir cuándo y dónde inspeccionar y realizar pruebas.

Mito n.º 2: la agencia deja de supervisar el proyecto



Algunos miembros del personal pueden interpretar el programa de garantía de calidad como una forma de automatización y creer que se les está despojando de sus responsabilidades. Pueden sentir que sus únicas responsabilidades son «observar y registrar» los resultados de las pruebas y, cuando el trabajo está terminado, simplemente aplicar el ajuste salarial adecuado. Este no es el caso.

Cada especificación de garantía de calidad incluye una serie de disposiciones que ayudan a garantizar que la agencia obtenga lo que paga. Aunque la agencia puede reducir la frecuencia de muestreo y pruebas realizadas por sus técnicos, la inspección de los materiales y la mano de obra durante la producción y la colocación es esencial para garantizar la calidad del producto final in situ.

Los inspectores y técnicos de la agencia deben ser conscientes de que su responsabilidad no ha cambiado y que la inspección sigue siendo un elemento fundamental de la aceptación. Las especificaciones de garantía de calidad siguen incluyendo disposiciones para rechazar materiales basadas en la inspección visual. Si el material HMA está claramente segregado o sin recubrir, o si el PCC presenta un aspecto alveolar a simple vista, o si la estructura del suelo sigue entretejida, solo la inspección, las herramientas de colaboración y las medidas acordadas por la agencia y el contratista pueden corregir esta situación.

No se equivoque: las deficiencias visibles y evidentes del producto deben seguir abordándose como se hacía en el pasado, solo que ahora es responsabilidad de ambos socios, la agencia y el contratista.

Mito n.º 3: «El zorro cuida del gallinero»

Algunos miembros del personal de la agencia pueden temer que el uso de las especificaciones de garantía de calidad dé lugar a una pérdida de control y supervisión por parte de la agencia sobre los materiales producidos y colocados. También pueden desconfiar del muestreo, las pruebas y la inspección realizados por el productor o el contratista. Como se ha comentado anteriormente, si se aplican correctamente los seis elementos obligatorios de un programa de garantía de calidad, estas preocupaciones deberían desaparecer. Como parte de sus responsabilidades de aceptación, los técnicos e inspectores de la agencia deben supervisar las actividades de control de calidad del contratista y seguir tener la responsabilidad de realizar el muestreo, las pruebas y la inspección de aceptación de forma independiente del contratista. La responsabilidad del muestreo, las pruebas y la inspección de control de calidad recae en manos del fabricante y el contratista, lo cual es coherente con lo que se exige normalmente en prácticamente todos los demás sectores empresariales que fabrican o producen productos (por ejemplo, electrónica, electrodomésticos, automóviles, aviones, alimentos).

El requisito de que el personal y los laboratorios del contratista estén cualificados/certificados de la misma manera que el personal y los laboratorios de la agencia tiene por objeto garantizar que todo el personal de control de calidad sea capaz de realizar correctamente sus tareas de muestreo, ensayo e inspección. Si la agencia no se siente completamente cómoda con la inclusión de los resultados de los ensayos de control de calidad en su decisión de aceptación, puede optar por utilizar únicamente los resultados de sus propios ensayos de aceptación. Si la agencia decide utilizar los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista en su decisión de aceptación, estos resultados deben validarse matemáticamente con los resultados de las pruebas de aceptación obtenidos de forma independiente por la agencia. Los datos de las pruebas de control de calidad del contratista solo se incluirán en la determinación de aceptación si son validados con éxito por la agencia.

Mito n.º 4: el control de calidad debe implementarse lo antes posible

La implementación del control de calidad no debe precipitarse, sino prolongarse durante un período de al menos cuatro o cinco años. Las agencias estatales han descubierto que, al actuar con demasiada rapidez, sin una formación adecuada y sin especificaciones bien pensadas, el esfuerzo general de implementación se ve obstaculizado hasta el punto de fracasar. Se necesita tiempo para que tanto la agencia como los contratistas adquieran los conocimientos adecuados sobre los requisitos de las especificaciones de garantía de calidad y comprender sus respectivas funciones y responsabilidades. También se necesita tiempo suficiente y proyectos piloto para introducir gradualmente los factores salariales y los ajustes salariales.

En resumen, se necesita tiempo suficiente para:

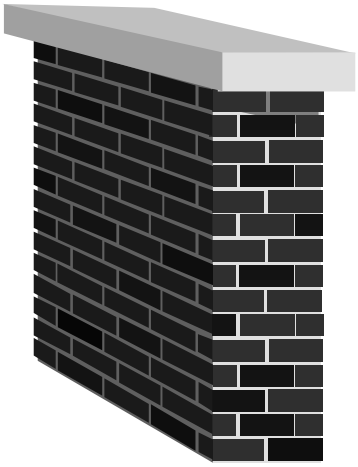
- Formar a todas las personas implicadas para que comprendan realmente los conceptos de garantía de calidad.
- Formar y cualificar al personal de primera línea que participa en el proceso.
- Desarrollar un programa general de garantía de calidad y especificaciones de garantía de calidad que sean justas para ambas partes.
- Implementar proyectos piloto y comenzar a evaluar la variabilidad de los productos (HMA, PCC, etc.) y validar los criterios de las especificaciones de garantía de calidad.
- Introducir gradualmente factores de remuneración justos y ajustes salariales.

Mito n.º 5: el objetivo de los proyectos piloto de garantía de calidad es evaluar si la garantía de calidad es una buena idea o no.

El objetivo de los proyectos piloto es proporcionar un período de transición para la implementación y perfeccionar y validar las especificaciones de garantía de calidad. Sin embargo, los proyectos piloto no deben utilizarse para evaluar si la garantía de calidad es una buena idea o no. Debe existir un compromiso firme por parte de la alta dirección de la agencia y la industria para la implementación exitosa de la garantía de calidad, incluso si los primeros proyectos piloto no tienen el éxito esperado.

Una vez más, lo fundamental es que tanto la agencia como el contratista comprendan verdaderamente los conceptos que subyacen al aseguramiento de la calidad. Es necesario organizar actividades educativas conjuntas a través de talleres, sesiones de formación, reuniones de asociaciones industriales o sesiones de colaboración son necesarias para llegar y comunicarse con todo el personal que participará en el aseguramiento de la calidad. Los altos cargos de la agencia y la industria deben recibir formación y educación para que los gerentes, ingenieros y trabajadores de primera línea puedan seguir su ejemplo. Su conocimiento previo de los objetivos y disposiciones del programa les permitirá apoyar el concepto en los casos en que sean contactados por personas frustradas que puedan considerar el aseguramiento de la calidad como una «moda pasajera».

Mito n.º 6: el mayor obstáculo para la implementación del control de calidad es la resistencia de los contratistas.

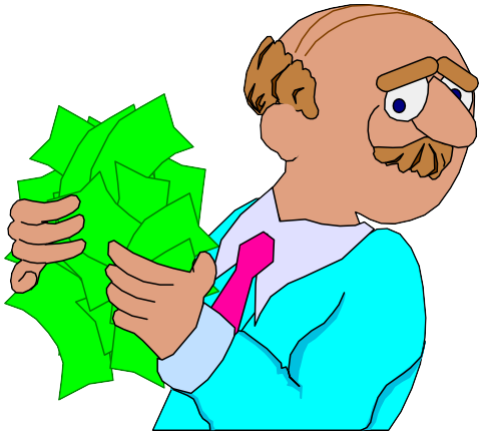


Esto ha resultado ser cierto en algunos estados, pero en otros, donde los contratistas participan en el proceso, se imparte formación, se elabora un plan de implementación y la implementación no se precipita, los contratistas se han convertido en los mayores defensores. En varios casos, el mayor obstáculo para la implementación del control de calidad no son los contratistas, sino la resistencia dentro de las agencias estatales. La clave para abordar esta resistencia es la formación y la comunicación, así como un plan de implementación bien pensado y gradual que cuente con el apoyo de la alta dirección.

Cualquier cambio es difícil por naturaleza humana. A menos que se reconozcan desde el principio los beneficios potenciales del control de calidad, la cautela puede dar paso a un proceso de implementación más largo de lo necesario. Es muy recomendable impartir sesiones de formación y sensibilización lo antes posible a todas las partes implicadas, con el fin de destacar los beneficios tangibles que se derivan de los primeros proyectos de control de calidad.

Resumen de los mitos sobre el aseguramiento de la calidad

Desmontar estos mitos facilitará la aceptación y la implementación exitosa de los programas de garantía de calidad y las especificaciones de garantía de calidad. El resultado será un aumento de la calidad y el rendimiento de nuestras instalaciones de transporte, que comenzará a traducirse en un ahorro neto en el coste total de nuestras mejoras en el transporte.



- FIN DEL CAPÍTULO 1 -

CAPÍTULO 2

Elementos del programa de garantía de calidad

Capítulo 2

Elementos del programa de garantía de calidad

Resumen del capítulo

En este capítulo se definirán y explicarán los siguientes seis elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad en la construcción:

2.1 - Descripción general del programa de garantía de calidad en la construcción

2.2 - Control de calidad

2.3 - Aceptación

2.4 - Garantía independiente

2.5 - Resolución de disputas

2.6 - Acreditación y cualificación de laboratorios

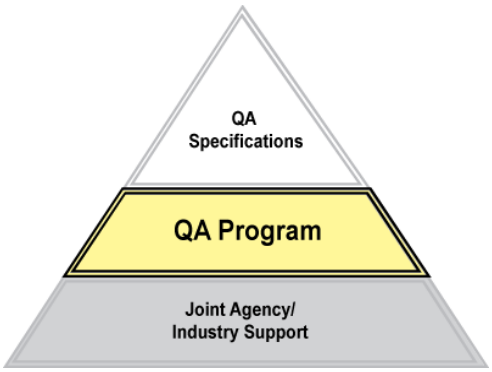
2.7 - Cualificación/certificación del personal

2.8 - Documentación del programa de garantía de calidad

2.1 - Descripción general del programa de garantía de calidad en la construcción

El segundo pilar del aseguramiento de la calidad

Como se ha comentado brevemente en el capítulo 1, el segundo componente principal (en el centro de la pirámide) necesario para la implementación del aseguramiento de la calidad en la construcción de infraestructuras de transporte es un ***programa de aseguramiento de la calidad de la construcción*** (programa de AC). El programa de AC proporciona el marco general para la implementación del aseguramiento de la calidad de la construcción.

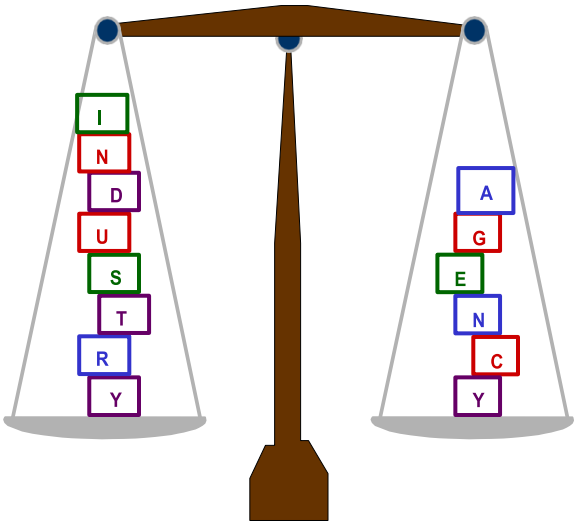


El Programa de garantía de calidad en la construcción se define de la siguiente manera:

> **Programa de garantía de calidad**: «Los elementos programáticos fundamentales necesarios para la implementación de la garantía de calidad en la construcción».

El programa de garantía de calidad sirve como estructura subyacente que establece las funciones y los requisitos de la agencia y el contratista necesarios para lograr una construcción de calidad. Debe basarse en una base sólida proporcionada por el primer componente principal de la garantía de calidad (apoyo conjunto de la agencia y la industria). Las agencias de transporte deben contar con un programa de garantía de calidad de la construcción antes de implementar las especificaciones de garantía de calidad.

Un programa de garantía de calidad en la construcción exitoso requiere un esfuerzo equilibrado del personal de la industria y de la agencia, que deben trabajar juntos en colaboración. Por parte de la industria, comienza con cada contratista (es decir, el contratista principal, los subcontratistas, los productores, los fabricantes



fabricantes) desarrollen mejores sistemas de control de calidad. Por parte de la agencia, comienza con el desarrollo por parte de las agencias de transporte de sistemas de aceptación que evalúen de forma más adecuada el nivel de calidad de la construcción e incluyan métodos para compensar al contratista en consecuencia. En pocas palabras, el contratista y la agencia trabajan juntos para garantizar un mayor rendimiento de un producto mediante la mejora de los sistemas de control de calidad y aceptación.

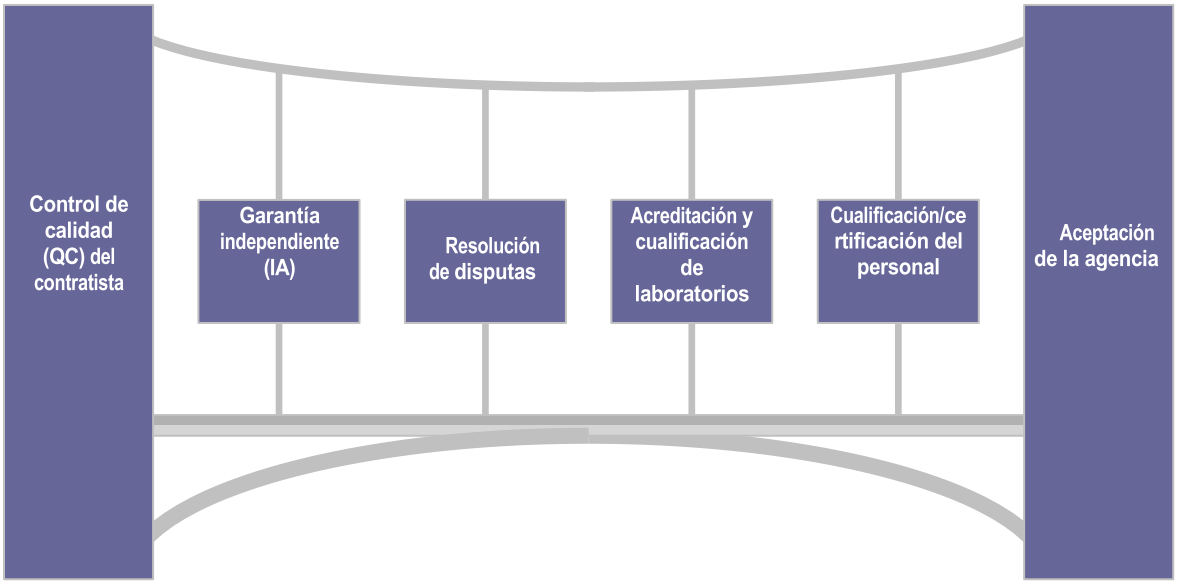
Elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad en la construcción

Un programa de garantía de calidad exitoso requiere más que el control de calidad del contratista y la aceptación de la agencia. Un programa de garantía de calidad se compone de seis elementos distintos que contribuyen al logro de la calidad. Tal y como se presenta en *el Informe del Grupo de Trabajo Nacional para la Mejora de la Calidad sobre Procedimientos de Garantía de Calidad para la Construcción de Carreteras*, el *Manual de Implementación de la AASHTO para la Garantía de Calidad* y *el 23 CFR 637*, los elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad en la construcción incluyen:

1) Control de calidad (QC) del contratista
2) Aceptación por parte de la agencia
3) Garantía independiente de la agencia (IA)
4) Resolución de disputas
5) Acreditación y cualificación de laboratorios
6) Cualificación/certificación del personal

Los seis elementos son necesarios para contar con un programa de garantía de calidad completo y eficaz. Un programa de garantía de calidad que solo cuente con cuatro o cinco de los seis elementos no es suficiente y no debe interpretarse como sustancialmente conforme con la intención de las directrices de la AASHTO o la normativa federal.

Cada uno de estos seis elementos puede compararse con los principales elementos estructurales de un puente colgante. Las dos «torres» principales de un programa de garantía de calidad de la construcción son el sistema de control de calidad del contratista y el sistema de aceptación de la agencia. Como elementos de apoyo del programa de garantía de calidad, la cualificación del laboratorio y del personal garantiza que las principales instalaciones y el personal que realiza el muestreo, las pruebas y la inspección sean capaces de llevar a cabo sus correspondientes actividades de garantía de calidad. El programa de garantía de calidad cuenta con el apoyo adicional de un sistema de garantía independiente (IA), que proporciona una evaluación independiente del control de calidad y del muestreo y las pruebas de aceptación. A la solidez de estos elementos se suma un proceso de resolución de disputas, cuyo objetivo es conciliar las diferencias entre los sistemas de control de calidad y de aceptación. A continuación se analiza con más detalle cada uno de estos elementos del programa de garantía de calidad.



2.2 - Control de calidad

Definición de control de calidad

El primer elemento fundamental de un programa de control ***de calidad*** es ***el control de calidad*** (CC). En términos generales, el CC es el sistema o sistemas implementados por el contratista (es decir, el contratista principal, los subcontratistas, los productores, los fabricantes y los fabricantes) para lograr la calidad. El control de calidad se define de la siguiente manera:

> **Control de calidad**: «El sistema utilizado por una parte contratante para supervisar, evaluar y ajustar sus procesos de producción o colocación con el fin de garantizar que el producto final cumpla con el nivel de calidad especificado».

El control de calidad incluye el muestreo, las pruebas, la inspección, la evaluación y las medidas correctivas (cuando sea necesario) para mantener un control continuo del proceso de producción o colocación.

Responsabilidad del contratista en el control de calidad

Las actividades de control de calidad son realizadas por el contratista. Técnicamente, el control de calidad siempre ha sido responsabilidad del contratista. Sin embargo, antes de la aparición del garantía de calidad, muchas agencias asumían algunas de las responsabilidades del control de calidad, como exigir a un técnico de la agencia que controlara las operaciones de las instalaciones de producción mediante muestreos, pruebas e inspecciones. En el marco de un programa de garantía de calidad debidamente desarrollado, la responsabilidad del control de calidad diario de la producción y la colocación sobre el terreno se asigna íntegramente al contratista.

La parte que fabrica o comercializa el producto es la que está en mejor posición para ejercer el control de calidad. En última instancia, es el contratista el responsable de completar el trabajo de acuerdo con los requisitos de las especificaciones mediante un control de calidad eficaz.

Ámbito de las actividades de control de calidad

El sistema de control de calidad de un contratista debe abordar todas las actividades clave durante la producción y colocación de los materiales de construcción. En el contexto de la construcción de infraestructuras de transporte, el control de calidad incluye los procesos de producción de materiales, el transporte y la manipulación de materiales, los procedimientos de colocación o instalación sobre el terreno, la calibración y el mantenimiento de los equipos, y todos los muestreos, ensayos e inspecciones que se realizan para mantener cada proceso «bajo control». El control de calidad implica realizar mediciones constantes del proceso (es decir, muestreos y pruebas) y observaciones (es decir, inspecciones). El personal de control de calidad es responsable de supervisar y evaluar estas mediciones y observaciones. Un sistema de control de calidad eficaz utiliza esta información para realizar ajustes oportunos en las operaciones de producción, las técnicas de colocación, el personal y los equipos.

El muestreo y las pruebas son solo una parte del control de calidad del contratista. La inspección es una actividad tan importante para el control de calidad del contratista como el muestreo y las pruebas. La inspección es necesaria para minimizar los problemas detectables visualmente en las instalaciones de producción, como las prácticas o necesidades de mantenimiento de las existencias o los equipos que, en última instancia, pueden afectar a la calidad del material producido. Del mismo modo, la inspección visual es esencial en las operaciones de colocación sobre el terreno para identificar los materiales o la mano de obra que no cumplen los requisitos de calidad. Las prácticas y actividades adecuadas de inspección de control de calidad se presentan en detalle en el capítulo 5.

Documentos principales de control de calidad

Con el fin de orientar al personal de control de calidad en sus actividades diarias, es importante que todos los procedimientos de control de calidad del contratista estén claramente definidos. Normalmente, esto se consigue mediante la elaboración minuciosa de dos tipos principales de documentos de control de calidad:

- Manual del sistema de calidad del contratista
- Planes de control de calidad

El objetivo de un manual del sistema de calidad es documentar los procedimientos operativos internos generales de control de calidad de un contratista individual (es decir, contratista principal, subcontratista, productor, fabricante, fabricante). Debe definir la responsabilidad y la rendición de cuentas en materia de control de calidad dentro de la organización del contratista. El manual del sistema de control de calidad está destinado a servir como documento operativo estándar que describe las operaciones de control de calidad aplicables a todos los trabajos producidos o realizados.

Los planes de control de calidad (planes de CC) son documentos específicos del proyecto cuya función es abordar los procesos específicos de las instalaciones de producción y la colocación sobre el terreno para categorías individuales de trabajo en un proyecto de construcción (por ejemplo, asfalto mezclado en caliente, hormigón de cemento Portland, etc.). Un plan de CC desarrollado y documentado por el contratista es una parte preferible y práctica de las especificaciones de garantía de calidad. El plan de CC proporciona a la agencia y al contratista un foro para discutir las disposiciones de control de calidad específicas del proyecto del contratista antes de comenzar el trabajo. También está destinado a utilizarse a lo largo del trabajo junto con las especificaciones del proyecto. En general, cada plan de control de calidad sirve como herramienta para garantizar que el contratista cuente con el personal, las instalaciones y los equipos adecuados. disposiciones de control de calidad específicas del proyecto antes de que comience el trabajo. También está destinado a ser utilizado a lo largo de la obra junto con las especificaciones del proyecto. En general, cada plan de control de calidad sirve como herramienta para garantizar que el contratista cuente con el personal, las instalaciones, el equipo y los procedimientos de control de calidad adecuados para lograr la calidad del producto especificada para cada elemento de trabajo importante.

Los requisitos para los manuales del sistema de calidad y los planes de control de calidad de los contratistas se tratan con más detalle en el capítulo 5.

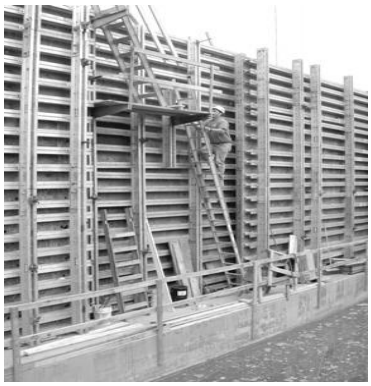
2.3 - Aceptación

Definición de aceptación

El segundo elemento fundamental de un programa de garantía de calidad es ***la aceptación*** por parte de la agencia. En resumen, la aceptación es el sistema establecido por la agencia para medir la calidad del trabajo realizado por el contratista. Por consiguiente, la aceptación se define de la siguiente manera:

> **Aceptación**: «Todos los factores utilizados por la agencia (es decir, muestreo, pruebas e inspección) para evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos del contrato y determinar el valor correspondiente a un producto determinado».

Responsabilidad de la agencia en la aceptación



La aceptación es responsabilidad de la agencia de transporte. Todas las actividades de aceptación deben ser realizadas por la agencia o su agente designado (es decir, un consultor bajo contrato directo con la agencia) independientemente del contratista. Como se explica a continuación, la agencia puede utilizar los datos de control de calidad del contratista como parte de su determinación final de aceptación. Sin embargo, la responsabilidad de realizar el muestreo y las pruebas de aceptación (también denominados *muestreo y pruebas de verificación*), así como de determinar la aceptabilidad de todos los materiales producidos y colocados, recae en la agencia.

En cualquier caso, la agencia debe conseguir muestras por su cuenta para la aceptación. Como se indica en el *Manual de implementación de la AASHTO para el control de calidad*, «según el concepto de control de calidad, las pruebas de control de calidad son responsabilidad del contratista y las pruebas de aceptación son responsabilidad de la agencia». Este concepto básico de control de calidad también lo establece la FHWA en 23 CFR 637B: *Procedimientos de control de calidad para la construcción*.

Alcance de las actividades de aceptación

El sistema de aceptación de la agencia incluye las siguientes actividades principales:

- Supervisión de la actividad de control de calidad del contratista
- Muestreo, pruebas e inspección de aceptación
- Evaluación de la calidad del producto

El personal de la agencia debe asegurarse de que el contratista realice todas las actividades de control de calidad de acuerdo con el plan de control de calidad aprobado. Para ello, es necesario que los técnicos e inspectores de la agencia conozcan a fondo las disposiciones específicas contenidas en el plan de control de calidad y que supervisen periódicamente las actividades de muestreo, pruebas e inspección de control de calidad del contratista durante la producción y la colocación de los materiales de construcción.

Como se ha mencionado anteriormente, el muestreo y las pruebas de aceptación deben ser realizados por personal de la agencia. Todo el muestreo y las pruebas de aceptación deben realizarse independientemente del muestreo y las pruebas de control de calidad del contratista.

La inspección de la agencia también sigue siendo una parte esencial del proceso de aceptación. Además del muestreo y las pruebas, se debe realizar una inspección visual para determinar el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones para la aceptación. A veces, incluso cuando el contratista sigue el plan de control de calidad, la agencia puede identificar defectos visibles en la mano de obra o los materiales, que deben ser rechazados o corregidos.

Enfoques del sistema de aceptación

El sistema de aceptación define un conjunto de procedimientos racionales que debe utilizar la agencia para determinar el grado de cumplimiento de los requisitos del contrato y el valor del producto entregado por el contratista. Para garantizar matemáticamente la calidad del trabajo realizado, la agencia necesita información suficiente en la que basar su decisión de aceptación.

En el marco del aseguramiento de la calidad, existen dos enfoques generales del sistema de aceptación que una agencia puede aplicar a los datos de las pruebas:

- Utilizar únicamente los datos de las pruebas de aceptación de la agencia para la determinación de la aceptación.

- Incluir los datos de las pruebas de control de calidad validados del contratista en la decisión de aceptación.

Ambos enfoques se describen con más detalle en el capítulo 6.

En el primer enfoque, solo se utilizan los muestreos y ensayos de aceptación realizados por los técnicos o inspectores de la agencia para evaluar la calidad del producto. Los resultados de los ensayos de aceptación de la agencia y sus actividades de inspección continuas constituyen la base del sistema de aceptación. Este enfoque requiere una mayor frecuencia de muestreos y ensayos de aceptación por parte de la agencia que el segundo enfoque.

En el segundo enfoque, los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista pueden utilizarse para complementar la información de las pruebas de aceptación de la agencia, siempre que los resultados del control de calidad procedan de muestras aleatorias validadas por la agencia. La validación es un procedimiento matemático que compara los datos de control de calidad del contratista con los datos de aceptación de la agencia (del mismo lote) y determina la probabilidad de que ambos conjuntos de datos procedan del mismo lote. La agencia puede utilizar una de las tres opciones permitidas siguientes para determinar la aceptación de un lote determinado en este enfoque:

Opción A: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad + los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia para el lote.

Opción B: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad + las divisiones correlacionadas del contratista de los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia para el lote.

Opción C: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad solo para el lote

Con el fin de obtener la mejor estimación matemática para una característica de calidad del material evaluada para su aceptación, es prudente utilizar todos los resultados de las pruebas disponibles. El origen de estos resultados no debe ser motivo de preocupación, siempre que estén debidamente validados. Por lo tanto, se anima a las agencias a utilizar tanto los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista como los resultados de sus pruebas de aceptación para desarrollar la estimación matemática del grado de cumplimiento de los requisitos del contrato para cada lote completado.

Independientemente del enfoque que se utilice, todas las muestras de aceptación de la agencia y de control de calidad del contratista que se incluyan en la decisión de aceptación deben obtenerse de forma aleatoria.

Determinación de la aceptación por parte de la agencia

El objetivo final del sistema de aceptación es determinar el grado de cumplimiento de los requisitos del contrato y el valor del trabajo. El personal de aceptación de la agencia es responsable de tomar esta determinación de acuerdo con las especificaciones y otros requisitos del contrato.

La aceptación del trabajo completado por parte de la agencia se basa tanto en los datos de las pruebas de materiales como en los resultados de la inspección de la mano de obra. Con las especificaciones de garantía de calidad, la medida matemática de calidad que se utiliza a menudo con los datos de las pruebas es el porcentaje dentro de los límites (PWL). El personal de la agencia utiliza el valor PWL calculado para determinar la aceptabilidad del trabajo completado y el pago correspondiente
pago correspondiente. En el capítulo 8 se presenta una explicación del PWL y cómo se calcula.

2.4 - Garantía independiente

Definición de garantía independiente

El tercer elemento fundamental de un programa de garantía de calidad es ***la garantía independiente*** (IA). La IA es una herramienta de gestión destinada a proporcionar una evaluación del proceso, no del producto. La garantía independiente se define de la siguiente manera:

> **Garantía independiente**: «Actividades que consisten en una evaluación imparcial e independiente de todos los procedimientos de muestreo y ensayo (o inspección) utilizados en el programa de garantía de calidad».

La IA proporciona una verificación independiente de la fiabilidad de los datos de aceptación obtenidos por la agencia y los datos de control de calidad obtenidos por el contratista. Los resultados de las pruebas o inspecciones de la IA no deben utilizarse como base para la aceptación de materiales. Los procedimientos de la IA están diseñados para proporcionar continuidad al Programa de Garantía de Calidad.

Responsabilidad de la garantía independiente

El muestreo, las pruebas y otros procedimientos de la IA deben ser realizados por personal de la agencia (o sus agentes designados) que normalmente no tengan responsabilidad directa en el muestreo, las pruebas o la inspección de aceptación del proyecto. Del mismo modo, el personal de la IA debe utilizar equipos distintos de los utilizados para las actividades de aceptación del proyecto para el muestreo y las pruebas de la IA. El personal de la IA y sus equipos proceden del Laboratorio Central de la agencia o de los laboratorios distritales/regionales. La agencia también puede optar por utilizar el laboratorio de un consultor para realizar la IA bajo contrato con la agencia.

Independientemente de si el personal de la agencia o el personal consultor lleva a cabo la IA, la agencia debe contar con una política ética que restrinja al personal de IA la realización de IA sobre compañeros que trabajen en el mismo laboratorio. El personal de IA debe esforzarse por mantener una buena relación con los responsables de las pruebas de aceptación y control de calidad, y debe conocer todos los procedimientos de muestreo y prueba para poder recomendar medidas correctivas que se deben tomar durante el proyecto.

Alcance de las actividades de garantía independiente

La garantía independiente proporciona una evaluación de la competencia y el equipo del personal de aceptación de la agencia, así como de la competencia y el equipo del personal de control de calidad del contratista. La mayoría de los sistemas de IA se han centrado históricamente en la competencia y el equipo del personal de muestreo y ensayo. Sin embargo, es importante señalar que la IA también puede aplicarse a las actividades de inspección, ya que la inspección de los materiales y la mano de obra es una parte importante parte de cada sistema de control de calidad de los contratistas y de cada sistema de aceptación de las agencias. Las agencias deben considerar la posibilidad de abordar la inspección como parte de un sistema completo de garantía independiente.

La IA proporciona un programa independiente y diferenciado de muestreo, ensayo y observación. Estos procedimientos se utilizan para realizar comprobaciones independientes de la fiabilidad de los resultados obtenidos tanto en el sistema de aceptación de la agencia como en el sistema de control de calidad del contratista, y no se utilizan para determinar la calidad y la aceptabilidad de los materiales o la mano de obra. Las pruebas de aceptación que se realizan en el laboratorio central acreditado de la agencia no se incluyen normalmente en el proceso de IA. En la norma AASHTO Materials Standard R 44 - *Standard Recommended Practice for Independent Assurance Programs* (Norma R 44 de la AASHTO sobre materiales: prácticas recomendadas para programas de garantía independiente) se incluyen orientaciones adicionales sobre las actividades de garantía independiente.

Enfoques de garantía independiente

Hay dos enfoques principales que una agencia puede seguir para la garantía independiente:

- El enfoque del proyecto
- El enfoque de sistemas

También se puede aplicar una combinación de estos dos enfoques.

En el marco ***del enfoque del proyecto***, el personal de IA se asegurará de que tanto el personal de aceptación de la agencia como el personal de control de calidad del contratista que trabaje en un proyecto de construcción individual sean evaluados a lo largo de toda la duración del proyecto. La frecuencia de muestreo, pruebas y observación de IA se basa normalmente en un porcentaje mínimo (normalmente el 10 %) de las pruebas de aceptación de la agencia y las pruebas de control de calidad del contratista.

Con el ***enfoque sistémico***, la actividad de garantía independiente se lleva a cabo independientemente del volumen de pruebas realizadas en un proyecto concreto. Los técnicos/inspectores de aceptación de la agencia y los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista son evaluados periódicamente en todos los proyectos de construcción activos, normalmente en función del tiempo (por ejemplo, como mínimo una vez al año).

Uso de muestras divididas para la garantía independiente

Dado que el objetivo de la comparación de la IA es identificar discrepancias o variaciones en los procedimientos o equipos de prueba, las pruebas de IA se realizan con muestras divididas. Al utilizar muestras divididas, se elimina del análisis la variabilidad inherente al material o al proceso de construcción y solo se evalúa la variabilidad debida a los procedimientos de muestreo, los procedimientos de prueba y el equipo.

Para evaluar el muestreo y las pruebas, Independent Assurance suele utilizar muestras divididas y observaciones del personal de muestreo y pruebas de aceptación de la agencia y del personal de muestreo y pruebas de control de calidad del contratista (si los resultados de las pruebas de control de calidad se incluyen en la determinación de aceptación). Para que Independent Assurance sea eficaz, los inspectores o técnicos de IA que presencian u obtienen muestras divididas para fines de IA deben tomar posesión inmediata de la parte de IA de la muestra dividida para garantizar la validez de la muestra dividida y la comparación de muestras.

Si las muestras de IA indican que existe una diferencia significativa entre los resultados de IA y las pruebas de aceptación o control de calidad, se debe determinar el motivo de la diferencia. Esto no siempre es una tarea sencilla. Existen muchas fuentes de error, entre ellas el laboratorio, el operador, el equipo de pruebas, los procedimientos de muestreo, etc.

La comparación de los resultados de las pruebas de muestras divididas debe basarse en tolerancias establecidas que sean representativas de los procedimientos de prueba y los materiales utilizados. La AASHTO y la ASTM han publicado declaraciones de precisión para algunos métodos de prueba. Sin embargo, no todos los procedimientos de prueba cuentan con declaraciones de precisión y no siempre se dispone de datos históricos de muestras divididas. En tales casos, será necesario que la agencia establezca declaraciones de precisión.

En algunos casos, el proceso de IA puede evaluar múltiples muestras divididas entre el personal de IA y el personal de aceptación de la agencia (o el personal de control de calidad del contratista). Este proceso suele utilizar una herramienta matemática denominada prueba t para mediciones emparejadas (también conocida como prueba t emparejada). Dado que se emplean más datos con la prueba t emparejada, esta resulta más eficaz a la hora de detectar diferencias cuando existen.

2.5 - Resolución de disputas

Definición de resolución de disputas

El cuarto elemento fundamental de un programa de garantía de calidad es ***la resolución de disputas***. *La especificación de la guía de garantía de calidad de la AASHTO* (febrero de 1996) define la resolución de disputas de la siguiente manera:

> **Resolución de disputas**: «El procedimiento utilizado para resolver conflictos derivados de discrepancias entre los resultados de la agencia y los del contratista que sean de tal magnitud que afecten al pago».

Función de la resolución de disputas

La resolución de disputas es un sistema formal diseñado para abordar diferencias significativas entre los datos y/u observaciones de las pruebas de aceptación de una agencia y los datos y/u observaciones de las pruebas de control de calidad de un contratista. La formalización de este proceso proporciona un medio para minimizar las relaciones adversas y las reclamaciones.

La resolución de disputas no tiene por objeto abordar cuestiones cotidianas que pueden ser resueltas por el personal de primera línea. Solo debe invocarse después de haber agotado todas las vías para evitar y resolver los conflictos al nivel más bajo posible.

Si los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista se utilizan en la decisión de aceptación, el programa de garantía de calidad debe contar con un sistema de resolución de disputas. Incluso si los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia solo se utilizan en la determinación de aceptación, se recomienda contar con procedimientos de resolución de disputas.

Responsabilidad de la resolución de disputas

Como parte del programa de garantía de calidad, tanto el contratista como la agencia realizarán pruebas e inspecciones de forma independiente. El contratista y el personal de la agencia deben hacer todo lo posible por evitar cualquier conflicto potencial en el programa antes y durante un proyecto, utilizando conceptos de colaboración, muestreo y pruebas divididas, etc.

Si surge una controversia entre algún aspecto del sistema de control de calidad del contratista y el sistema de aceptación de la agencia en un proyecto, se debe utilizar el sistema de resolución de controversias para resolver las diferencias. Como parte del proceso de resolución de controversias, se recomienda el uso de un tercero (es decir, que no forme parte del proyecto) para resolver las diferencias y evitar acusaciones de parcialidad.

Ámbito de la resolución de disputas

La resolución de disputas debe ser oportuna, eficaz y justa para lograr el objetivo principal, es decir, la resolución de las principales discrepancias entre el contratista y la agencia. Como mínimo, los procedimientos de resolución de disputas deben abordar las siguientes situaciones posibles:

- Disputas que impliquen diferentes métodos de prueba del contratista y la agencia para medir o establecer la misma característica de calidad del material.
- Disputas en las que los métodos de ensayo del contratista y la agencia para la misma característica de calidad son idénticos.
- Disputas no relacionadas con los resultados de las pruebas sobre cuestiones que no pueden cuantificarse fácilmente, como las disputas relacionadas con la inspección de la calidad de los materiales o la mano de obra.

En el *Manual de implementación de la AASHTO para el aseguramiento de la calidad*.

2.6 - Acreditación y cualificación de laboratorios

Definición de laboratorios acreditados frente a laboratorios cualificados

El quinto elemento fundamental de un programa de garantía de calidad es ***la acreditación y cualificación de laboratorios***. Existe una diferencia entre la acreditación y la cualificación de laboratorios. Los laboratorios acreditados y los laboratorios cualificados se definen, respectivamente, de la siguiente manera:

> **Laboratorios acreditados**: «Laboratorios reconocidos por un organismo de acreditación oficial como cumplidores de los requisitos del sistema de calidad, incluida la competencia demostrada para realizar procedimientos de ensayo estándar».
>
> **Laboratorios cualificados**: «Laboratorios que son capaces, según lo definido por los programas apropiados establecidos o reconocidos por cada organismo».

Los laboratorios acreditados se consideran «cualificados». Sin embargo, un «laboratorio cualificado» no necesita estar acreditado.

Requisitos para la acreditación de laboratorios

Todos los laboratorios centrales de las agencias deben estar acreditados por el Programa de Acreditación de la AASHTO (AAP) según la normativa federal (23 CFR 637B). Además, la norma 23 CFR 637 exige que cualquier laboratorio ajeno a la agencia (consultor) que realice muestreos y ensayos para la garantía independiente o la resolución de disputas esté acreditado por el AAP.

El AAP se utiliza para proporcionar un mecanismo de reconocimiento formal de la competencia de un laboratorio de ensayos para realizar ensayos específicos en materiales de construcción. Esta acreditación incluye inspecciones exhaustivas del laboratorio por parte del Laboratorio de Referencia de Materiales de la AASHTO (AMRL) y el Laboratorio de Referencia de Cemento y Hormigón (CCRL) del equipo y los procedimientos de ensayo para garantizar el cumplimiento de las normas de la AASHTO. Para mantener la acreditación AAP, un laboratorio debe cumplir los requisitos del sistema de calidad especificados en la práctica estándar R 18 de la AASHTO y también debe participar en los programas de muestras de aptitud del AMRL y el CCRL.

Requisitos para la cualificación de laboratorios

Todos los demás laboratorios de agencias, contratistas o consultores que participen en el muestreo y las pruebas utilizados en la determinación de aceptación de la agencia deben estar cualificados a través de un programa de cualificación de laboratorios (LQP) aprobado por la agencia o a través de la AAP. Este es un requisito del 23 CFR 637. La FHWA y la AASHTO también han publicado directrices sobre los elementos necesarios de un programa de cualificación de laboratorios.

Un programa de cualificación de laboratorios, denominado por algunas organizaciones «programa de certificación de laboratorios (LCP)», debe cumplir las siguientes directrices mínimas:

- Supervisores con experiencia (mínimo 3 años) en muestreo y pruebas
- Personal cualificado mediante un programa de cualificación/certificación aceptable
- Equipos de ensayo calibrados y verificados en buen estado de funcionamiento
- Manuales de referencia actualizados con políticas y procedimientos de muestreo y ensayo
- Evaluación periódica del programa de IA del equipo y el personal de pruebas de laboratorio
- Un programa continuo de pruebas de aptitud

En **el apéndice D** se incluye un ejemplo de programa de cualificación de laboratorios.

2.7 - Cualificación/certificación del personal

Definición de personal cualificado frente a personal certificado

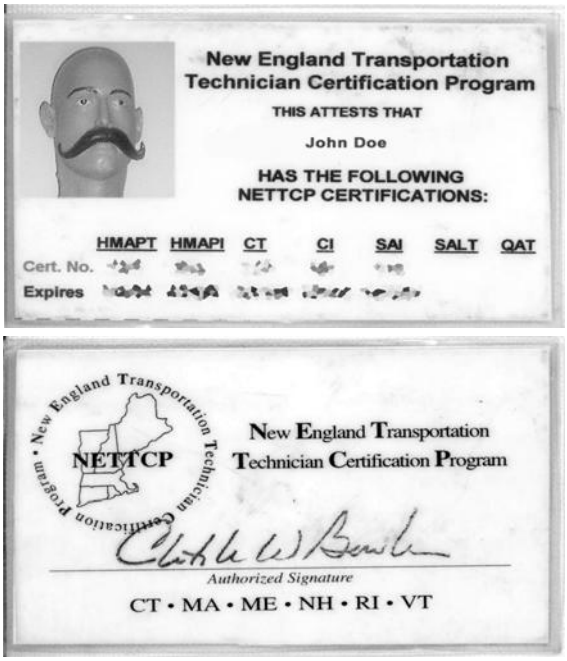
El sexto elemento fundamental de un programa de garantía de calidad es ***la cualificación/certificación del personal***. Los términos “cualificación” y “certificación” se utilizan a veces de forma intercambiable y se definen de la siguiente manera:

> **Personal cualificado**: “Personal capaz según lo definido por los programas apropiados establecidos o reconocidos por cada agencia”.
>
> **Personal certificado**: “Personal reconocido por un organismo de certificación oficial como cualificado para realizar muestreos, pruebas, inspecciones o procedimientos relacionados”.

El personal que se considera “cualificado” no tiene por qué estar “certificado”. La razón principal por la que algunos organismos utilizan el término “cualificado” en lugar de “certificado” se debe a restricciones legales o administrativas. En la práctica, no suele haber diferencias sustanciales entre los programas que cualifican o certifican al personal.

Función de la cualificación/certificación del personal

Un programa de garantía de calidad exige que las personas que realizan una o varias de las funciones de muestreo, ensayo e inspección para la agencia, el contratista o los laboratorios consultores estén adecuadamente formadas y cualificadas/certificadas. En todos los casos, los programas de cualificación/certificación ayudan a garantizar las cualificaciones del personal y aumentan el orgullo por el trabajo realizado.



Los programas de cualificación/certificación del personal suelen ser establecidos y administrados por agencias de transporte individuales, asociaciones industriales o universidades. También se han establecido algunos programas regionales, como el Programa de Certificación de Técnicos en Transporte de Nueva Inglaterra (NETTCP), el Programa de Certificación de Técnicos de la Región del Atlántico Medio (MARTCP) y la Alianza Occidental para la Calidad en la Construcción del Transporte (WAQTC). También existen programas nacionales, como los del Instituto Americano del Hormigón (ACI) y el Instituto del Hormigón Pretensado (PCI).

Arriba se muestra un ejemplo de tarjeta de cualificación/certificación. Estas tarjetas deben incluir una fotografía para una identificación positiva y suelen estar plastificadas. Debido a la posibilidad de falsificación o intercambio de tarjetas, las agencias deben verificar periódicamente las tarjetas o certificados con el sistema electrónico oficial de base de datos de la organización de cualificación/certificación.

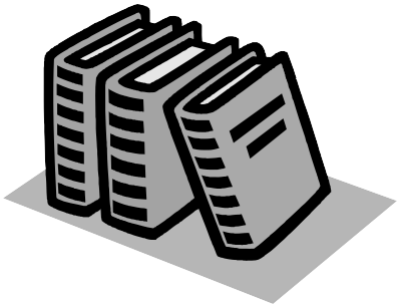
Requisitos para la cualificación/certificación del personal

Como mínimo, se recomiendan los siguientes elementos para un programa completo de cualificación/certificación del personal:

- Formación formal del personal en todos los procedimientos de muestreo y ensayo o inspección (con instrucciones sobre la importancia de cumplir los procedimientos adecuados y el significado de los resultados de los ensayos y las inspecciones).
- Formación práctica para demostrar la competencia en todas las tareas de muestreo, ensayo o inspección que se vayan a realizar.
- Un período de formación en el puesto de trabajo con una persona cualificada para garantizar el conocimiento de los procedimientos de la agencia de transporte.
- Un examen escrito y un examen práctico sobre los distintos métodos de muestreo y ensayo.
- Recualificación cada 2 a 5 años para demostrar que los conocimientos y/o habilidades siguen siendo válidos (los datos del programa de garantía independiente de la agencia pueden utilizarse para satisfacer la parte del proceso de recualificación relativa a la vigencia de las habilidades).
- El programa de cualificación debe contar con un proceso documentado para destituir al personal que realice incorrectamente los procedimientos de muestreo, ensayo o inspección.

Los requisitos y directrices específicos para los programas de cualificación/certificación del personal se recogen en los siguientes documentos:

- 23 CFR 637B - *Procedimientos de garantía de calidad para la construcción*
- Suplemento no reglamentario al 23 CFR 637 (http://www.fhwa.dot.gov/legsregs/directives/fapg/0637bsup.htm)
- NQI: *Directrices para el establecimiento de un programa de formación y certificación de técnicos.*
- Norma de materiales R 25 de la AASHTO: *Práctica recomendada estándar para programas de formación y cualificación de técnicos*



2.8 - Documentación del programa de garantía de calidad

Requisitos para el documento del programa de garantía de calidad de la construcción

Es necesario que cada agencia de transporte estatal prepare un documento escrito del programa de garantía de calidad que aborde los seis (6) elementos básicos necesarios para la implementación completa de la garantía de calidad en la construcción. El programa de garantía de calidad en la construcción de cada agencia debe cumplir los requisitos del título 23 del CFR 637B (*Procedimientos de garantía de calidad en la construcción*) y debe ser aprobado por la FHWA. Una vez que el documento del programa de garantía de calidad de una agencia es aprobado por la oficina divisional de la FHWA, se convierte en el instrumento rector de la calidad de la construcción en todos los proyectos del Sistema Nacional de Carreteras (NHS) financiados con fondos federales.

Contenido y formato del documento del programa de garantía de calidad

Es importante tener en cuenta que el programa de garantía de calidad tiene por objeto establecer los elementos programáticos fundamentales necesarios para lograr materiales y mano de obra de calidad. Por lo tanto, la garantía de calidad de la construcción y el programa de garantía de calidad no se centran únicamente en el muestreo y las pruebas de los materiales. La inspección de la mano de obra es una parte fundamental de la garantía de calidad y debe reflejarse en el documento del programa de garantía de calidad.

Aunque no existe un formato prescrito para el documento del programa de garantía de calidad, se recomienda que el esquema general siga los seis elementos básicos (es decir, control de calidad, aceptación, garantía independiente, resolución de disputas, acreditación y cualificación de laboratorios, cualificación/certificación del personal). El documento debe abordar los elementos básicos mencionados anteriormente para las tres categorías principales de materiales (es decir, materiales producidos por el proyecto, materiales estructurales fabricados y materiales fabricados estándar).

El documento del programa de control de calidad puede ser un documento independiente o puede hacer referencia a información contenida en otros documentos de la agencia (por ejemplo, el manual de construcción o el manual de materiales).

Elaboración del documento del programa de control de calidad

Los documentos del programa de control de calidad de la construcción de la agencia de transporte deben ser desarrollados y aplicados conjuntamente por la sección de construcción y la sección de materiales de la agencia, en consulta con la FHWA. Se recomienda (según el apoyo conjunto de la agencia y la industria) que se obtenga la opinión de los socios de la industria al desarrollar el programa de control de calidad. Una vez desarrollado y aprobado, el programa de control de calidad debe compartirse con todo el personal de construcción y materiales de la agencia, así como con el personal del contratista, a través de cursos de formación o talleres.

- FIN DEL CAPÍTULO 2 -

CAPÍTULO 3

La evolución de las especificaciones de garantía de calidad

Capítulo 3

La evolución de las especificaciones de garantía de calidad

Resumen del capítulo

En este capítulo se definirán y explicarán los siguientes tipos principales de especificaciones para la construcción de infraestructuras de transporte:

3.1 - Lograr la calidad con especificaciones

3.2 - Especificaciones de métodos de construcción

3.3 - Especificaciones de control de resultados finales

3.4 - Especificaciones de control de calidad

3.5 - Especificaciones de construcción relacionadas con el rendimiento

3.6 - Especificaciones de garantía de calidad basadas en el rendimiento

3.7 - Desarrollo de especificaciones de garantía de calidad

3.8 - Resumen de las especificaciones de construcción de transporte

3.1 - Lograr la calidad con especificaciones

Definición de especificaciones

Las especificaciones de construcción son una parte importante de los documentos contractuales de los proyectos de transporte. Las especificaciones complementan los planos de cada proyecto de construcción y enumeran los requisitos particulares del proyecto. La *Guía de especificaciones para la construcción de carreteras* de la AASHTO define las especificaciones de la siguiente manera:

> **Especificaciones**: "Recopilación de disposiciones y requisitos para realizar el trabajo prescrito".

Esta definición (o una versión ligeramente modificada) se encuentra en las especificaciones de construcción estándar de la mayoría de las agencias de transporte.

Ámbito de aplicación de las especificaciones

Las especificaciones de construcción de transporte proporcionan a la agencia un conjunto estándar de procedimientos para la gestión y ejecución de un proyecto. Establecen los términos y normas escritos que debe cumplir el contratista al completar todos los trabajos incluidos en un proyecto.
Las especificaciones de construcción incluyen requisitos para tres funciones principales:

1. Responsabilidades contractuales y legales
2. Control y medición de la calidad del trabajo
3. Medición y pago de la obra

El enfoque específico de cada una de estas funciones depende del tipo de especificación utilizada por la agencia.

Requisitos de las especificaciones en materia de calidad

Como resultado del programa de control de calidad documentado de una agencia, las especificaciones de construcción deben incluir los requisitos adecuados para la segunda función principal de las especificaciones mencionada anteriormente (es decir, **controlar y medir la calidad del trabajo**). Tal y como se ha presentado anteriormente en el capítulo 1, una definición sencilla de calidad es *"la conformidad con los requisitos*". Con un programa de garantía de calidad en vigor, los requisitos de las especificaciones con los que se busca la conformidad deben reflejar el rendimiento a largo plazo de la obra terminada.

Por lo tanto, las especificaciones de construcción de la agencia deben identificar los requisitos específicos de materiales y mano de obra que se relacionan directamente con el rendimiento deseado de cada elemento del trabajo. También deben incluir actividades cuantitativas del contratista y la agencia para medir estos requisitos de materiales y mano de obra (es decir, pruebas e inspecciones).

Principales tipos de especificaciones de construcción de transporte

Las especificaciones de construcción de transporte han evolucionado a lo largo de los años, y siguen evolucionando, en cuanto a la forma en que especifican la calidad del trabajo. Los principales tipos de especificaciones de construcción de transporte incluyen:

- Especificaciones de métodos
- Especificaciones de resultados finales
- Especificaciones de garantía de calidad
- Especificaciones relacionadas con el rendimiento
- Especificaciones basadas en el rendimiento

Las especificaciones anteriores se centraban principalmente en los métodos y procedimientos prescritos para la realización del trabajo, con la expectativa de que estos requisitos permitieran alcanzar la calidad deseada. En las últimas décadas, las especificaciones han pasado a definir criterios relacionados con el rendimiento y las actividades de medición correspondientes. En este capítulo se presentan cada uno de los principales tipos de especificaciones mencionados anteriormente y su respectivo enfoque para controlar y medir la calidad del trabajo.

Las garantías no se incluyen en la lista anterior de especificaciones de construcción, ya que no son un tipo de especificación independiente completa.
Las garantías son un tipo de disposición contractual que aborda el rendimiento tras la finalización de la construcción. Cuando se utilizan disposiciones de garantía, deben ir acompañadas de una especificación de garantía de calidad o una especificación de rendimiento.

3.2 - Especificaciones de método

Definición de especificaciones de método

La mayoría de las agencias de transporte han utilizado históricamente lo que se conoce como ***especificaciones de método*** (también llamadas especificaciones de materiales y métodos, especificaciones de recetas o especificaciones prescriptivas). Las especificaciones de método se definen de la siguiente manera:

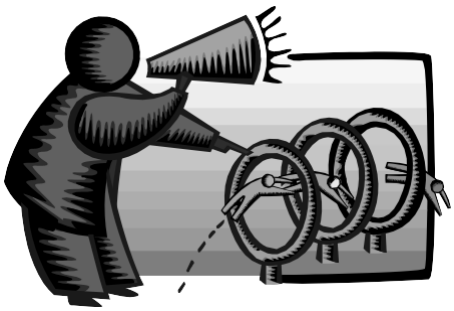
> **Especificaciones de método**: "Especificaciones que exigen al contratista fabricar y colocar un producto utilizando materiales especificados en proporciones definidas y tipos específicos de equipos y métodos bajo la dirección de la agencia".

Descripción general de las especificaciones del método

Las especificaciones de métodos, que se han utilizado comúnmente desde la década de 1940, otorgan el máximo control y responsabilidad a la agencia que las especifica. Por lo general, este tipo de especificaciones:

- Proporcionan un "libro de recetas" con "recetas" específicas que debe seguir el contratista.
- Utilizan la inspección, el muestreo y las pruebas de la agencia para controlar el trabajo.
- Basan la aceptación en la "conformidad razonable" o el "cumplimiento sustancial".
- Evalúan los resultados individuales de las pruebas realizadas con muestras de materiales.
- Pagan el 100 % en toda una gama de calidades.

Control de materiales y trabajos por parte de la agencia



Una especificación de método detalla exactamente el equipo, los métodos, los materiales y las técnicas que deberá utilizar un contratista. Se indica al contratista o al productor que combine los materiales especificados en proporciones definidas y que utilice tipos específicos de equipo y métodos para colocar los materiales o el producto de la forma prescrita. Cada paso es controlado —y en muchos casos dirigido— por un representante de la agencia de transporte. En efecto, la agencia alquila el personal y el equipo del contratista. Este tipo de especificación no permite al contratista ser innovador.

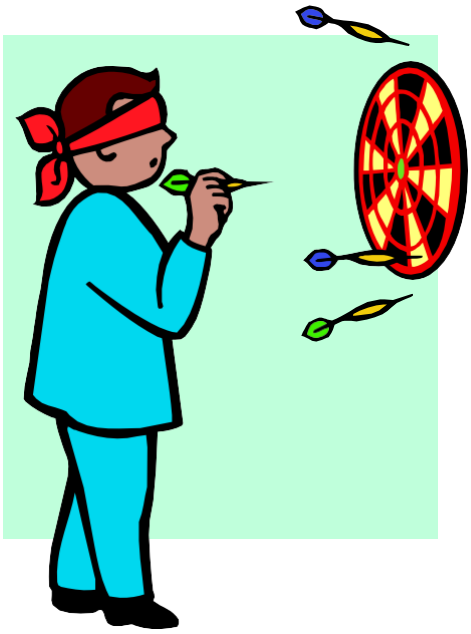
Aceptación basada en el cumplimiento razonable

Muchas agencias siguen utilizando hoy en día alguna versión de las especificaciones de método, pero suelen incluir un mayor grado de ensayo de materiales que en la década de 1950. En los inicios del uso de las especificaciones de método, se realizaban pocos o ningún ensayo de materiales. La agencia especificadora basaba la aceptación principalmente en la inspección. En muchos casos, la agencia no disponía de medios defendibles para cerrar las instalaciones que producían materiales no conformes, exigir la corrección o la retirada de los materiales defectuosos, o ajustar el pago. La aceptación se determinaba basándose en el “cumplimiento sustancial” de los requisitos de la especificación.

Las decisiones de aceptación en virtud de las especificaciones de método son bastante arbitrarias, ya que no existe un nivel de calidad establecido definido por la especificación. Por lo general, las especificaciones de método solo exigen que el trabajo sea “razonablemente conforme”, “sustancialmente conforme” o “se complete a satisfacción del ingeniero”. Una especificación en estos términos es difícil de aplicar de manera uniforme y tiene una legalidad cuestionable si el contratista ha cumplido los requisitos de materiales y métodos, pero se le dice que el trabajo no es aceptable.

Materiales evaluados por resultados de pruebas individuales

Aunque las especificaciones de métodos actuales pueden hacer un mayor uso de los resultados de las pruebas para la aceptación, suelen centrarse en los resultados de las pruebas de muestras de materiales individuales. Cada resultado de prueba para una característica de calidad concreta (por ejemplo, huecos de aire, resistencia a la compresión) se comprueba normalmente con los límites de calidad prescritos (normalmente se especifica un valor máximo y/o mínimo). Como se comentará en el capítulo 4, centrarse únicamente en Los resultados de pruebas individuales ignoran la variabilidad inherente a los materiales de construcción y se basan en ese único resultado para determinar la aceptabilidad de grandes cantidades de material.



Cuando un resultado de prueba individual “falla” según las especificaciones del método, es difícil determinar si se debe corregir el proceso, detener la producción o rechazar/eliminar el material colocado. Muchas agencias se han enfrentado al dilema de tener que aceptar o rechazar un producto basándose en una sola muestra de material. En resumen, es como jugar a la ruleta rusa. El resultado de la prueba de una muestra podría, por casualidad, representar un producto aceptable o, simplemente por casualidad, representar un producto de calidad inferior.

Pago no vinculado a la calidad

Los problemas inherentes que plantea la aceptación basada en el “cumplimiento sustancial” y/o en los resultados de pruebas individuales dificultan el establecimiento de procedimientos objetivos para el ajuste de los pagos. Las especificaciones del método no suelen indicar si se debe ajustar el pago del contrato por materiales o mano de obra no especificados, ni cómo hacerlo específicamente. Del mismo modo, las especificaciones del método no permiten que se recompense al contratista por proporcionar un producto de mayor calidad que la exigida en la especificación.
En virtud de una especificación de método, los contratistas suelen recibir el 100 % del pago por el trabajo realizado, independientemente del nivel de calidad.

Desventajas de las especificaciones de método

En resumen, las principales desventajas de las especificaciones del método incluyen:

- La agencia controla cada paso de la operación del contratista.
- Es posible que no se permita al contratista utilizar los procedimientos y equipos más económicos o innovadores para fabricar el producto deseado.

- La aceptación del trabajo se basa en la inspección de la “conformidad sustancial”.
- Las decisiones basadas en los resultados de las pruebas de muestras individuales pueden aumentar las disputas y los enfrentamientos entre el contratista y la agencia.
- El pago al contratista no se vincula a la calidad del producto ni al rendimiento a largo plazo.

3.3 - Especificaciones del resultado final

Definición de especificaciones de resultados finales

La creación de la prueba de carretera AASHO (*predecesora de la AASHTO*) en 1958 supuso el primer paso hacia ***las especificaciones de resultado final***. Las especificaciones de resultado final se definen de la siguiente manera:

> **Especificaciones de resultado final**:
> "Especificaciones que exigen al contratista asumir toda la responsabilidad de fabricar y colocar un producto. La responsabilidad de la agencia es aceptar o rechazar el producto final o aplicar un ajuste salarial acorde con el grado de cumplimiento de las especificaciones".

Descripción general de las especificaciones de resultado final

Las especificaciones de resultado final suelen:

- Asignan al contratista la responsabilidad y la libertad totales para determinar los materiales, los procedimientos y los equipos utilizados para fabricar el producto.
- Dejan el muestreo, las pruebas y la inspección del control de calidad totalmente a discreción del contratista o del fabricante.
- Basar la aceptación de la agencia en el muestreo y las pruebas del producto final in situ.
- Determinar un ajuste salarial basado en el grado de cumplimiento de los criterios especificados.

Flexibilidad del contratista en cuanto a materiales y procedimientos

En las especificaciones de resultado final, el contratista o productor asume toda la responsabilidad del suministro de un producto o elemento de construcción. Este tipo de especificación tiene la ventaja de ofrecer al contratista la mayor flexibilidad a la hora de ejercer opciones para desarrollar nuevas técnicas y procedimientos para realizar el trabajo y mejorar la calidad del producto final. Las verdaderas especificaciones de resultado final no imponen restricciones sobre los materiales utilizados ni sobre los métodos y equipos empleados para incorporarlos al producto final. Se trata de una consideración bien consideración significativa, pero sin duda se ve superada por las desventajas inherentes.

Aceptación del producto final in situ

Las especificaciones de resultado final hacen hincapié en el muestreo y las pruebas, en contraposición a la inspección, como la principal medida de aceptación por parte de la agencia. “Resultado final” es un término que define la calidad deseada del producto terminado. La especificación acepta o rechaza el producto final, o aplica un sistema de sanciones que tiene en cuenta el grado de incumplimiento.
Una de las principales objeciones a este tipo de especificaciones en el sector de la construcción de infraestructuras de transporte es que una gran cantidad de material puede resultar defectuoso una vez instalado, cuando ya hay muy pocas posibilidades de corregirlo. Esto supone un gran riesgo desde el punto de vista de la agencia que especifica la aceptación de un producto no deseado. También desalienta la acumulación de resultados de pruebas a lo largo de la construcción para obtener una estimación más representativa de la calidad del producto. En la práctica, es difícil hacer cumplir una especificación de este tipo y las implicaciones están relacionadas con procedimientos y conceptos legales más que con consideraciones de ingeniería sólidas.

Límites de calidad basados en el criterio

Otro problema de este tipo de especificaciones es determinar los niveles razonables de aceptación y las relaciones entre las propiedades de los materiales y el rendimiento final del producto. Los límites utilizados para la aceptación en la prueba de carretera de la AASHO fueron desarrollados por un grupo de ingenieros que utilizaron su experiencia para determinar los límites que, en su opinión, podía cumplir el contratista y que darían lugar al rendimiento deseado del producto. Sin embargo, las pruebas de carretera de la AASHO demostraron que los límites no podían cumplirse de manera sistemática. Las especificaciones cuyos límites de calidad se basan únicamente en juicios subjetivos suelen ser difíciles de cumplir debido a la falta de definición de las capacidades del proceso de producción y del producto deseado. Para establecer límites de calidad realistas, es necesario estimar el valor objetivo deseado y la variabilidad que se puede tolerar. Sin embargo, un plan de aceptación válido de la agencia debe basarse en un análisis científico y técnico de los datos históricos de las pruebas de producción para establecer valores objetivo prácticos e identificar la variabilidad inherente. Solo cuando se hace esto se puede considerar que la especificación es realmente alcanzable y defendible.

Desventajas de las especificaciones de resultado final

Las principales desventajas de las especificaciones de resultado final son las siguientes:

- A menudo, la responsabilidad del control de calidad no está claramente definida.
- Las decisiones de aceptación basadas en los resultados de pruebas limitadas del producto in situ no permiten identificar y corregir a tiempo los materiales no conformes y pueden rechazar injustamente materiales aceptables.
- Los valores objetivo de las especificaciones y los límites de calidad se basan a menudo en la “experiencia” subjetiva, en lugar de en un análisis de datos históricos.

3.4 - Especificaciones de garantía de calidad

El tercer pilar del aseguramiento de la calidad

Como se ha comentado brevemente en el capítulo 1, ***las especificaciones de garantía de calidad*** son el tercer componente principal (la parte superior de la pirámide) necesario para la implementación de la garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte. Antes de implementar las especificaciones de garantía de calidad, las agencias deben contar con un programa de garantía de calidad de la construcción documentado. Las especificaciones de garantía de calidad deben basarse directamente en los seis elementos fundamentales del programa de garantía de calidad de la agencia. Establecen los requisitos a nivel de proyecto que deben seguir el contratista y la agencia para ofrecer y medir la calidad de la construcción.

Definición de especificaciones de garantía de calidad

El uso de ***las especificaciones de garantía de calidad*** (o especificaciones de GC), que inicialmente se denominaban “especificaciones basadas en estadísticas”, comenzó en la década de 1960. Las especificaciones de garantía de calidad se definen de la siguiente manera:

> **Especificaciones de garantía de calidad**: “Especificaciones que requieren actividades de control de calidad por parte del contratista y de aceptación por parte de la agencia a lo largo de la producción y la colocación de un producto. La aceptación final del producto se basa normalmente en un muestreo estadístico del nivel de calidad medido para las características clave de calidad”.

Descripción general de las especificaciones de garantía de calidad

La especificación de garantía de calidad es una forma más racional de especificación que delimita claramente las responsabilidades del contratista y la agencia y determina el pago en función del nivel de calidad de la construcción medido. Especificaciones de garantía de calidad:

- Asignan la responsabilidad del control de calidad (QC) al contratista.
- Basar la aceptación tanto en la inspección como en las pruebas realizadas por la agencia.
- Utilizan planes de aceptación que reconocen la variabilidad inherente de los materiales.
- Proporcionan ajustes salariales relacionados con el nivel de calidad del producto.

Responsabilidad y requisitos de control de calidad

Según una especificación de garantía de calidad, el contratista es totalmente responsable del control de calidad (QC). Asignar la responsabilidad de todas las actividades de control de calidad al contratista es coherente con lo que se exige normalmente en prácticamente todos los demás sectores empresariales que fabrican o producen productos (por ejemplo, electrónica, electrodomésticos, automóviles, aviones, alimentos).

Las especificaciones de control de calidad identificarán los requisitos mínimos de control de calidad y las actividades que deberá realizar el contratista. Esto incluye la realización de inspecciones de control de calidad, así como el muestreo y las pruebas de control de calidad a lo largo de la producción y la colocación de los elementos de trabajo.

Requisitos del sistema de aceptación

Con una especificación de control de calidad, la agencia de transporte sigue siendo responsable de la aceptación de todos los elementos de trabajo. Las especificaciones deben reflejar el sistema de aceptación descrito en el programa de control de calidad documentado de la agencia. Esto incluye tanto la inspección de aceptación como las pruebas de aceptación realizadas por el personal de la agencia a medida que avanza el trabajo (no solo al final del proyecto).

Las especificaciones de control de calidad identificarán los elementos específicos que deben inspeccionarse en relación con la calidad de los materiales y la mano de obra. Las *características de calidad* específicas que deben someterse a prueba y *las medidas de calidad* correspondientes utilizadas para la aceptación también se identifican en la especificación. Una especificación de control de calidad completa suele indicar que, como parte de sus responsabilidades de aceptación, la agencia también supervisará la adecuación de las actividades de control de calidad del contratista.

Planes de aceptación que reconocen la variabilidad inherente

Las especificaciones completas de garantía de calidad proporcionan un medio racional para alcanzar un alto nivel de calidad, al tiempo que reconocen que existe variabilidad en todos los procesos y productos terminados. Los planes de aceptación estadística que se utilizan habitualmente en las especificaciones de garantía de calidad para la construcción de infraestructuras de transporte se derivaron originalmente de las especificaciones del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Norma Militar 414: *Procedimientos de muestreo y tablas para la inspección por variables del porcentaje de defectos*). Este tipo de plan de aceptación se basa en principios matemáticos de probabilidad (estadísticos) probados que tienen en cuenta las fuentes de variabilidad inherente contenidas en todos los datos de las pruebas. Las especificaciones de garantía de calidad proporcionan una evaluación más realista del grado de conformidad con el nivel de calidad especificado. Esto se logra evaluando los datos de las pruebas con respecto a los límites de calidad debidamente desarrollados, utilizando una medida de calidad estadística (por ejemplo, la desviación estándar, PWL) para cuantificar el grado de variabilidad.

Ajuste salarial vinculado a la calidad

Las especificaciones de garantía de calidad suelen determinar el ajuste salarial basándose en una evaluación matemática de la calidad medida del producto. Por lo general, las especificaciones de garantía de calidad proporcionan:

- Un aumento del pago o "incentivos" (normalmente entre el 101 % y el 105 %) por un trabajo de calidad superior.
  (Nota: Algunas agencias pueden pagar hasta un 110-115 %).

- Pago reducido o "desincentivos" (normalmente entre el 0 % y el 99 %) por trabajos de menor calidad.

El trabajo que se considera por debajo de un nivel mínimo de calidad (denominado *"límite de aceptación"*) suele ser rechazado por la agencia. Las especificaciones de control de calidad suelen indicar que el trabajo que se encuentra en un "nivel rechazable" está sujeto a medidas correctivas (si es posible), a su eliminación y sustitución, o a una mayor reducción del pago (si el trabajo se mantiene en su lugar).

Justificación de los ajustes salariales positivos

Aunque en ocasiones se han incluido factores de pago positivos en las especificaciones de control de calidad debido a las preocupaciones de los contratistas, no se puede dejar de insistir en que el ajuste salarial vinculado al nivel de calidad tiene por objeto proporcionar tanto al contratista como a la agencia una medida más equitativa del valor recibido. Algunos pueden considerar los factores de pago positivo principalmente como una bonificación para el contratista. Sin embargo, la verdadera razón por la que se incluyen pagos superiores al 100 % en las especificaciones de control de calidad (junto con desincentivos) es realmente una cuestión de equidad.

Las especificaciones de control de calidad establecen para cada característica de calidad un nivel de calidad aceptable (AQL) que garantiza el pago del 100 %. Cuando se utiliza el "porcentaje dentro de los límites" (PWL) como

medida de calidad, el valor AQL se establece normalmente en torno a 90 o 95 PWL. Por ejemplo, supongamos que el AQL para la resistencia del hormigón se especifica como AQL = 90 PWL. Cuando el valor PWL calculado para tres o más resultados de pruebas evaluados conjuntamente es exactamente 90 PWL, el lote representado garantiza el pago del 100 %. Sin entrar en largas discusiones, el PWL se calcula utilizando un procedimiento estadístico (que contiene cierto grado de variabilidad) para llegar a una «estimación» del PWL para todo un lote de material. Los procedimientos para estimar el PWL se presentan en detalle en el capítulo 8.

El valor PWL estimado para un conjunto determinado de resultados de pruebas será exactamente el AQL establecido (por ejemplo, 90 PWL) o estará por encima o por debajo de él en diversos grados. Cuando

Si el valor estimado del PWL es inferior al AQL (es decir, < 90 PWL), se recibe un pago reducido (es decir, un desincentivo). Si las especificaciones solo permiten el pago completo o un desincentivo, siempre que el cálculo estimado del PWL arroje un valor superior al AQL (es decir, entre 90 y 100 PWL), el pago se limitará siempre a un máximo del 100 %. En este escenario, en el que el programa de ajuste salarial solo incluye desincentivos, el programa salarial siempre se sesgará a la baja. Como resultado, el ajuste salarial medio también se sesgará a la baja y dará lugar a reducciones salariales injustificadas. La forma adecuada de corregir esto es proporcionar un aumento del pago (es decir, incentivos) cuando el valor del PWL sea superior al AQL.

Ventajas de las especificaciones de garantía de calidad

Como se ha comentado brevemente anteriormente, algunas de las características clave y las ventajas correspondientes de las especificaciones de garantía de calidad son las siguientes:

- Los requisitos de control de calidad hacen que el contratista sea responsable de supervisar sus operaciones y producir un producto de calidad en tiempo real.

- El personal de la agencia realiza actividades de aceptación (tanto inspección como pruebas) a medida que avanza el trabajo. (Si se aplica correctamente, esto elimina las situaciones en las que se encuentra una calidad «inaceptable» en el producto final instalado).

- Un plan de aceptación estadística para los datos de las pruebas es Normalmente se incluye una medida de calidad y unos límites de calidad adecuados que reflejan la variabilidad inherente.

- Normalmente se incluyen disposiciones de ajuste salarial. (Proporcionan un mecanismo racional para otorgar un aumento salarial por un trabajo de mayor calidad y aplicar una reducción salarial o medidas correctivas por un trabajo de menor calidad).

3.5 - Especificaciones relacionadas con el rendimiento

Definición de especificaciones relacionadas con el rendimiento

Desde finales de la década de 1980, la evolución de las especificaciones de construcción de transporte se ha centrado en el desarrollo de ***especificaciones relacionadas con el rendimiento***. En un taller celebrado en mayo de 2000 por el Departamento de Transporte de Florida, la FHWA y la NQI, surgió la siguiente definición técnica de especificaciones relacionadas con el rendimiento (especificaciones P-R):

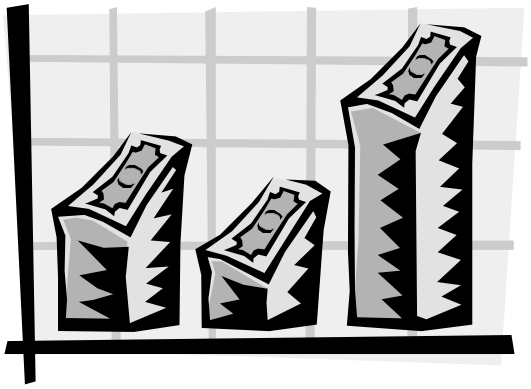
> **Especificaciones relacionadas con el rendimiento**: «Especificaciones que utilizan relaciones cuantificadas entre las características de calidad y el coste del ciclo de vida (LCC) que están correlacionadas con el rendimiento del producto».

En pocas palabras, las especificaciones relacionadas con el rendimiento son especificaciones de garantía de calidad mejoradas. Desde el punto de vista de la gestión, las especificaciones P-R se consideran el puente entre la calidad de la construcción y el rendimiento a largo plazo del producto.

Resumen de las especificaciones relacionadas con el rendimiento

Las principales características distintivas de las especificaciones relacionadas con el rendimiento incluyen:

- Aceptación basada en características clave de calidad que se ha comprobado que guardan correlación con propiedades técnicas fundamentales que predicen el rendimiento.
- Modelos matemáticos utilizados para cuantificar la relación entre las características clave de calidad y el rendimiento del producto.
- Ajustes salariales relacionados con el coste del ciclo de vida (LCC) previsto de los elementos de obra construidos.



Uso de características de calidad vinculadas al rendimiento

Las especificaciones relacionadas con el rendimiento intentan relacionar las características de calidad que se miden con el rendimiento probable del producto instalado. Sin embargo, al igual que las especificaciones de garantía de calidad, solo especifican las características de calidad del producto medidas en el momento de la construcción y no especifican el rendimiento deseado a largo plazo del producto tras la finalización de la construcción. Las pruebas utilizadas para determinar la aceptación con las especificaciones P-R se seleccionan porque las características de calidad que se miden están relacionadas de alguna manera con el rendimiento del producto.

e calidad que se relacionan con el rendimiento a largo plazo de las instalaciones de transporte son:

- El total de huecos de aire in situ o la suavidad de rodadura de los pavimentos de asfalto mezclado en caliente.
- La permeabilidad o la resistencia del hormigón de cemento Portland.

Estas características de calidad se prestan al muestreo y las pruebas de aceptación en el momento de la construcción.

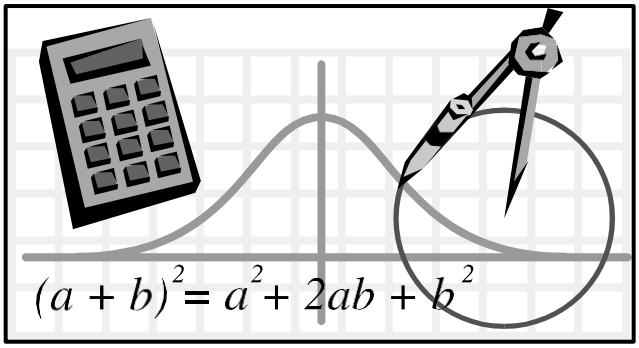
Modelos matemáticos que predicen el rendimiento

Las especificaciones P-R verdaderas no solo describen los niveles deseados de estas características de calidad, sino que también emplean las relaciones cuantificadas (es decir, modelos matemáticos) que contienen las características para predecir el rendimiento posterior del producto. El uso de modelos cuantificables es una característica que distingue las especificaciones relacionadas con el rendimiento de otras especificaciones de construcción de transporte. Los modelos se basan en datos de rendimiento reales y presentan una imagen mucho más clara de lo que influye en el rendimiento de un producto construido

producto construido que la que se puede visualizar solo a través del juicio y la intuición de los ingenieros. Gracias a las recientes investigaciones realizadas en el marco del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP), y por la FHWA y el Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP), ahora es posible relacionar los requisitos de las especificaciones con el rendimiento previsto del producto.

Las especificaciones relacionadas con el rendimiento contienen dos tipos de modelos:

1. Modelos de predicción del rendimiento
2. Modelos de costes de mantenimiento



Los modelos de predicción del rendimiento predicen cuándo y en qué medida un producto de construcción (como un pavimento) presentará un tipo determinado de deterioro, como grietas por fatiga o desprendimiento de juntas. Los modelos de costes de mantenimiento estiman el *coste del ciclo de vida* (LCC) posterior a la construcción, que es el coste de mantenimiento y rehabilitación necesarios a lo largo de la vida útil prevista del producto. Los datos que se introducen en estos modelos incluyen variables de diseño (como la carga de tráfico, los factores climáticos, el drenaje y los factores del suelo) y características de calidad (como el contenido de ligante asfáltico y los huecos de aire, la permeabilidad y la resistencia del hormigón, y la suavidad de rodadura).

Ajuste salarial vinculado al coste del ciclo de vida

Estos modelos proporcionan la base para tomar decisiones racionales de aceptación y/o ajuste salarial. Los ajustes salariales se determinan utilizando dos costes del ciclo de vida diferentes:

- El LCC según el diseño
- El LCC según la construcción

El LCC según diseño se determina utilizando los valores objetivo de las características de calidad especificadas como entradas para los modelos. El LCC según construcción se determina utilizando los valores reales medidos de las características de calidad como entrada. La diferencia entre el LCC según diseño y el LCC según construcción es la base para cualquier ajuste de pago.

LCC según diseño
- LCC según lo construido
= Ajuste salarial

Datos necesarios para desarrollar modelos de rendimiento

La capacidad de desarrollar y utilizar especificaciones válidas relacionadas con el rendimiento depende de la disponibilidad de modelos razonables de predicción del rendimiento y de costes de mantenimiento. Estos modelos solo pueden desarrollarse y validarse mediante datos de buena calidad, entre los que se incluyen:

- Datos de rendimiento de pavimentos y puentes
- Datos sobre la calidad de la construcción
- Datos sobre los costes de construcción
- Datos sobre los costes de mantenimiento

Las agencias de transporte deben utilizar sus sistemas de gestión (pavimento, puentes y mantenimiento) para recopilar estos datos y generar los modelos de predicción del rendimiento y los modelos de costes de mantenimiento necesarios. Lamentablemente, muchos sistemas de gestión no incluyen todos los

archivos de datos anteriores ni los datos relacionados con el LCC. Muchos sistemas de gestión no pueden relacionar la pérdida de rendimiento (medida por el deterioro del estado, la conducción y el valor estructural) con una familia de especificaciones de construcción concreta o con las características de calidad medidas del material/construcción tal y como se ha construido. A falta de datos específicos de las agencias, las investigaciones recientes y en curso de la FHWA y el NCHRP han generado algunos modelos para el desarrollo de especificaciones relacionadas con el rendimiento.

Aplicación de especificaciones relacionadas con el rendimiento

Hasta la fecha, solo unas pocas agencias de transporte han desarrollado especificaciones verdaderamente relacionadas con el rendimiento. La implementación de las especificaciones P-R hasta la fecha se ha centrado únicamente en los pavimentos. En un taller organizado por la FHWA en noviembre de 2006, se informó de que, entre 2000 y 2006, solo cinco estados (California, Florida, Indiana, Tennessee y Wisconsin) habían puesto a prueba especificaciones relacionadas con el rendimiento para pavimentos de hormigón de cemento Portland (PCC). Estos estados utilizaron el software *PaveSpec* 3.0 de la FHWA para el análisis de datos. En el taller también se informó de que, aunque se han realizado muchas investigaciones con especificaciones P-R para pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, incluidos WesTrack (Estudio NCHRP n.º 455) y el Estudio NCHRP n.º 9-22, actualmente no hay ningún estado que haya implementado especificaciones completas relacionadas con el rendimiento para pavimentos HMA.

Algunos de los «obstáculos para la implementación» de las especificaciones P-R (para pavimentos de PCC y HMA) citados incluyen:

- Cada especificación P-R requiere un desarrollo específico para cada proyecto.
- El personal del proyecto de construcción debe introducir demasiados datos.
- Aún quedan dudas sobre cómo relacionar con precisión los diseños estructurales, los diseños de mezclas de materiales y las pruebas del proyecto.
- Las agencias de transporte temen que las especificaciones P-R puedan ser manipuladas por los contratistas.

Como resultado de estas importantes cuestiones, no parece probable que las especificaciones P-R se adopten de forma generalizada en un futuro próximo. Incluso si las cuestiones identificadas anteriormente se resolvieran de forma satisfactoria, es muy probable que la aplicación de las especificaciones P-R se limite únicamente a proyectos de transporte grandes o importantes.

3.6 - Especificaciones basadas en el rendimiento

Definición de especificaciones basadas en el rendimiento

Mucho más lejos en el horizonte de la evolución de las especificaciones de construcción de transporte se encuentran ***las especificaciones basadas en el rendimiento***. La Circular de Investigación sobre Transporte n.º E-074 define formalmente las especificaciones basadas en el rendimiento (especificaciones P-B) de la siguiente manera:

> **Especificaciones basadas en el rendimiento**: «Especificaciones de garantía de calidad que describen los niveles deseados de propiedades técnicas fundamentales (por ejemplo, módulo de elasticidad, propiedades de fluencia y fatiga) que son predictores del rendimiento y aparecen en las relaciones de predicción primarias».

Las «relaciones de predicción primarias» contenidas en las especificaciones P-B son modelos que pueden utilizarse para predecir el estrés, el desgaste o el rendimiento a partir de combinaciones de predictores que representan el tráfico, el entorno, los materiales de soporte y las condiciones estructurales.

Descripción general de las especificaciones basadas en el rendimiento

Las características principales de las especificaciones basadas en el rendimiento incluyen:

- Aceptación basada en la medición de las propiedades técnicas fundamentales del producto acabado que predicen el rendimiento.
- Límites de calidad establecidos utilizando una base estadísticamente válida.
- Modelos matemáticos utilizados para cuantificar la relación entre las propiedades técnicas fundamentales medidas y el rendimiento del producto.
- Ajustes salariales basados en el coste del ciclo de vida (LCC) previsto de la infraestructura de transporte construida.

Las especificaciones basadas en el rendimiento se diferencian de las especificaciones relacionadas con el rendimiento en que especifican los niveles deseados de las ***propiedades*** fundamentales reales ***de la ingeniería*** (no las características clave de calidad) que son predictores del rendimiento. Las propiedades fundamentales de ingeniería especificadas (por ejemplo, el módulo de elasticidad, las propiedades de fluencia y las propiedades de fatiga) se utilizan en relaciones de predicción del rendimiento (es decir, modelos matemáticos) que pueden utilizarse para predecir la tensión, el estrés o el rendimiento a partir de combinaciones de predictores que representan las condiciones del tráfico, el medio ambiente y la estructura. En el sentido estricto, las especificaciones basadas en el rendimiento se refieren al rendimiento del producto final in situ y no a cómo se ha construido.

Estado de las especificaciones basadas en el rendimiento

Aún no existen especificaciones P-B completas. Las especificaciones del ligante asfáltico clasificado por rendimiento Superpave (PGAB), que se desarrollaron a través del programa de investigación SHRP, son un ejemplo de especificación parcial basada en el rendimiento. Sin embargo, el PGAB es solo un componente del producto final. Todos los materiales que componen un producto y sus propiedades fundamentales de ingeniería relacionadas deben incluirse para disponer de modelos completos que permitan predecir el rendimiento de ese producto. Otros métodos de ensayo basados en el rendimiento aún no se han desarrollado por completo. Los métodos de ensayo basados en el rendimiento que se han desarrollado aún no son lo suficientemente fáciles de usar como para permitir la realización de ensayos de aceptación oportunos durante la construcción. Actualmente se está llevando a cabo un mayor desarrollo y validación de los ensayos basados en el rendimiento a través de los programas de investigación de la FHWA, el NCHRP y el TRB.

Además, las verdaderas especificaciones basadas en el rendimiento requerirán buenos datos del sistema de gestión para generar y validar los modelos necesarios para determinar los ajustes salariales basados en los costes del ciclo de vida previstos. Como se ha comentado anteriormente, la mayoría de los sistemas de gestión de las agencias no recopilan ni evalúan actualmente todos los datos necesarios para desarrollar los modelos de rendimiento y costes requeridos. En consecuencia, las especificaciones basadas en el rendimiento aún no se han convertido en una herramienta viable para las agencias de transporte.

3.7 - Desarrollo de especificaciones de garantía de calidad

Descripción general del proceso de desarrollo de especificaciones de garantía de calidad

Las especificaciones de garantía de calidad requieren más conocimientos de ingeniería sobre cada producto que las especificaciones de métodos o las especificaciones de resultados finales. Antes de que se pueda implementar plenamente una especificación de garantía de calidad válida con disposiciones de incentivos/desincentivos, es necesario realizar una considerable labor de ingeniería. Antes de desarrollar las especificaciones de garantía de calidad, también debe existir un programa de garantía de calidad de la agencia bien definido y documentado. El objetivo es garantizar que los requisitos de control de calidad del contratista y los requisitos del sistema de aceptación de la agencia estén claramente definidos y puedan desarrollarse más detalladamente en las especificaciones de construcción. El proceso de desarrollo e implementación de una especificación de garantía de calidad requiere las cuatro fases siguientes:

- Fase I: Inicio y planificación de la especificación de control de calidad.
- Fase II: desarrollo de especificaciones piloto de garantía de calidad.
- Fase III: implementación de especificaciones piloto de garantía de calidad.
- Fase IV: evaluación y perfeccionamiento de las especificaciones de control de calidad.

A continuación, se describe brevemente cada una de estas cuatro fases.

Fase I: Inicio y planificación de la especificación de control de calidad

La primera fase del desarrollo de la especificación de control de calidad comprende las tres actividades iniciales siguientes:

- Formar un grupo de trabajo sobre especificaciones de control de calidad compuesto por representantes de la agencia y la industria.
- Seleccionar los elementos de trabajo y materiales específicos para la aplicación de la especificación de control de calidad.
- Preparar un esquema de las disposiciones de la especificación de control de calidad.

La agencia de transporte que desarrolle la especificación de control de calidad debe formar un grupo de trabajo. El grupo de trabajo debe incluir tanto a personal de la agencia (estatal, federal, local) como a personal de la industria (asociaciones de contratistas, organizaciones de productores) para garantizar que todos los socios relevantes aporten sus opiniones y conocimientos técnicos disponibles. La representación de la agencia en el grupo de trabajo debe incluir personal de la «Sección de Construcción» y la «Sección de Materiales» de la agencia y, posiblemente, personal de Diseño. Los elementos específicos de la obra y los materiales que la Se debe seleccionar la especificación que se abordará. Como regla general, se recomienda que la agencia seleccione uno o dos elementos relacionados con los principales materiales producidos por el proyecto (por ejemplo, pavimento HMA, pavimento de hormigón, hormigón estructural, movimiento de tierras) para el desarrollo inicial de la especificación de control de calidad. Una vez seleccionado el elemento de trabajo, se debe preparar un borrador del esquema de la especificación. El esquema general debe seguir las partes principales de una especificación de control de calidad que se enumeran a continuación (es decir, requisitos de control de calidad del contratista, requisitos de aceptación de la agencia, disposiciones para la resolución de disputas y un plan de aceptación estadística).

Fase II: desarrollo de especificaciones piloto de garantía de calidad

En la segunda fase, se debe redactar una especificación piloto de garantía de calidad. Independientemente del elemento de trabajo o material seleccionado, una especificación completa de garantía de calidad debe incluir requisitos específicos para cada una de las cuatro (4) partes principales siguientes:

- Parte 1: Establecer los requisitos de control de calidad (QC) del contratista
- Parte 2: Establecer los requisitos de aceptación de la agencia
- Parte 3: desarrollar disposiciones para la resolución de disputas
- Parte 4: desarrollar un plan de aceptación estadística

A continuación, se describe brevemente cada una de estas partes de una especificación de control de calidad.

Parte 1: Establecer los requisitos de control de calidad del contratista

La primera parte de una especificación de control de calidad debe indicar claramente los requisitos para cada una de las siguientes funciones de control de calidad del contratista:

- Requisitos mínimos del plan de control de calidad/manual del sistema de calidad
- Requisitos de personal de control de calidad
- Requisitos del laboratorio de control de calidad
- Requisitos mínimos de inspección de control de calidad
- Requisitos mínimos de muestreo y pruebas de control de calidad
- Análisis y documentación de datos de control de calidad

Los requisitos específicos de control de calidad en una especificación piloto de garantía de calidad deben basarse en los criterios y directrices del sistema de control de calidad del contratista descritos en el documento del programa de garantía de calidad de la agencia. La especificación debe exigir un plan de control de calidad específico para cada elemento importante del proyecto que implique materiales producidos por el proyecto. La especificación de garantía de calidad debe incluir un resumen del contenido mínimo requerido en cada plan de control de calidad, así como los requisitos para su presentación. La especificación también puede identificar los requisitos para los manuales del sistema de calidad que deben existir para los materiales estructurales fabricados y los materiales fabricados estándar.

Deben especificarse los requisitos de cualificación del personal y los laboratorios de control de calidad.

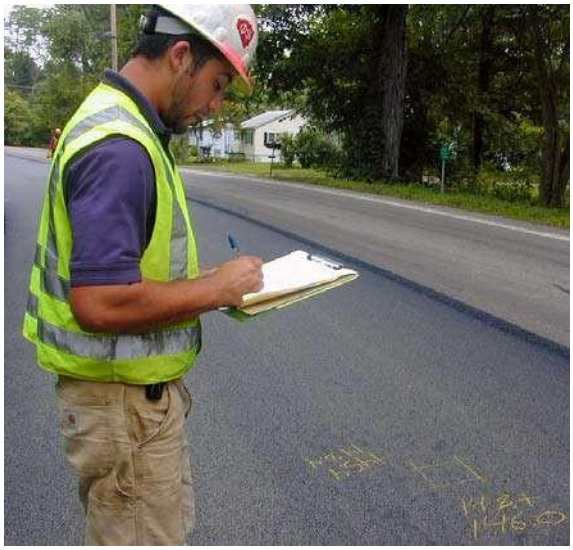
también deben identificarse los elementos mínimos que deben inspeccionarse y las características de calidad que deben someterse a prueba para el control de calidad. Por último, deben especificarse los requisitos para la documentación del contratista y el análisis de los datos de control de calidad, incluyendo: formularios de informes de inspección y pruebas, libros de registro de control de calidad, gráficos de control y nivel de calidad actual.

Los requisitos de control de calidad del contratista que suelen figurar en las especificaciones de garantía de calidad se presentan en el capítulo 5.

Parte 2: Establecer los requisitos de aceptación de la agencia

Los requisitos del sistema de aceptación de la agencia constituyen la segunda parte de una especificación de garantía de calidad y deben abordar lo siguiente:

- Enfoque del sistema de aceptación de la agencia
- Elementos que debe inspeccionar la agencia para la aceptación
- Características de calidad sujetas a pruebas de aceptación (verificación) por parte de la agencia
- Requisitos para la correlación de muestras divididas entre el contratista y la agencia
- Procedimientos para la validación de los datos de control de calidad del contratista
- Procedimientos para identificar valores atípicos
- Procedimientos para la repetición del muestreo y las pruebas
- Disposiciones para la determinación de la calidad y el pago (plan de aceptación)



Los requisitos de aceptación de la agencia en una especificación piloto de garantía de calidad deben seguir los criterios del sistema de aceptación establecidos en el documento del programa de garantía de calidad de la agencia. En primer lugar, las especificaciones deben especificar el enfoque del sistema de aceptación que se utilizará para los datos de inspección y ensayo (es decir, utilizar únicamente los datos de la agencia o incluir datos de control de calidad validados en la determinación de la aceptación). Deben identificarse los elementos clave que serán inspeccionados por la agencia para determinar la calidad de la mano de obra. Las características clave de calidad sujetas a la agencia También deben identificarse las pruebas de aceptación. Deben especificarse los requisitos para la correlación de muestras divididas y la validación de los datos de control de calidad (si se incluyen en la determinación de aceptación). Es importante que también se incluyan procedimientos para la identificación de datos atípicos de las pruebas, junto con procedimientos para el nuevo muestreo o la nueva prueba adecuados. Un plan de aceptación estadística, utilizado para evaluar la calidad del producto basándose en los datos de las pruebas, suele ser el último elemento de los requisitos de aceptación de la agencia (véase la parte 4 más adelante). Los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad para la aceptación se tratan en el capítulo 6.

Parte 3: Desarrollar disposiciones para la resolución de disputas

La tercera parte de una especificación de control de calidad debe proporcionar instrucciones específicas del proyecto para resolver disputas entre el contratista y la agencia. Las disposiciones para la resolución de disputas en una especificación de control de calidad piloto deben basarse en los requisitos del sistema de resolución de disputas descritos en el documento del programa de control de calidad de la agencia. Las disposiciones para la resolución de disputas deben abordar cada uno de los siguientes aspectos:

- Enfoque de resolución de disputas
  - Recurso a terceros
  - Uso del laboratorio de la agencia
- Requisitos de personal para la resolución de disputas
- Requisitos del laboratorio para la resolución de disputas
- Procedimientos para la resolución de disputas

Se debe especificar el enfoque de resolución de disputas, es decir, si se utilizará un tercero u otro laboratorio de agencia (distinto del laboratorio que realiza las pruebas de aceptación para el proyecto) en el proceso de resolución de disputas. También se deben indicar los requisitos de cualificación del personal y los laboratorios que realizan actividades de resolución de disputas. Deben indicarse claramente los procedimientos específicos que deben seguirse en el proceso de resolución de disputas, incluyendo, entre otros: la identificación de la ubicación y los límites de los materiales o la mano de obra en disputa; el uso de muestras divididas; el muestreo y las pruebas adicionales que puedan realizarse; y los procedimientos para actividades de inspección adicionales.

Parte 4: Desarrollar un plan de aceptación estadística

El plan de aceptación es un conjunto de disposiciones dentro de una especificación que detalla cómo se aceptará y pagará el trabajo completado basándose únicamente en los datos de las pruebas. La cuarta parte de una especificación completa de control de calidad suele ser un ***plan de aceptación estadística***. Un plan de aceptación estadística aplica criterios matemáticos basados en la probabilidad para evaluar los datos de las pruebas y determinar la calidad y el pago correspondiente.

El desarrollo de un plan de aceptación estadística implica los siguientes seis pasos: Paso 1:

confirmar el tamaño del lote, el tamaño del sublote y el tamaño de la muestra.
Paso 2: seleccionar la medida de calidad.
Paso 3: analizar los datos históricos de calidad disponibles. Paso 4: establecer objetivos y límites de calidad. Paso 5: desarrollar disposiciones de ajuste de pagos.
Paso 6: asignar y evaluar los riesgos.

En el paso 1, se deben confirmar el tamaño del lote y los sublotes establecidos para las pruebas de aceptación en el documento del programa de control de calidad de la agencia. En un taller organizado por la FHWA en noviembre de 2006, se informó de que, para obtener una cantidad significativa de datos de ensayo, el tamaño de muestra recomendado (es decir, el número de muestras por lote) es de un mínimo de 20 a 30 muestras de material por lote. Si se permiten los datos de control de calidad del contratista en la decisión de aceptación, la proporción mínima entre las muestras de control de calidad del contratista y las muestras de aceptación de la agencia es de 4:1 y, preferiblemente, de 2:1.

El paso 2 requiere la selección de la medida matemática de calidad que se utilizará para evaluar los datos de las pruebas y determinar la calidad de cada lote. Las medidas de calidad se explican con más detalle en el capítulo 4.

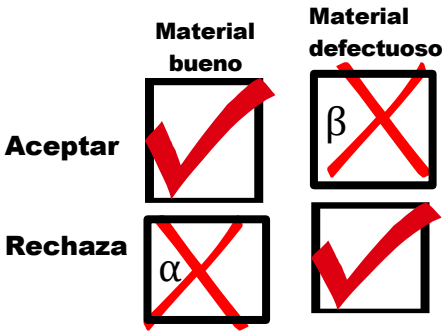
El paso 3 consiste en analizar los datos históricos aleatorios de las pruebas de la agencia y del contratista para los materiales específicos y las características de calidad que se someterán a prueba para su aceptación. El análisis tiene por objeto identificar el nivel medio (media) de calidad y el grado de variabilidad alcanzado históricamente.

En el paso 4, los resultados del análisis de los datos históricos deben utilizarse para ayudar a establecer objetivos y límites de calidad para cada característica de calidad sometida a prueba para su aceptación.

El quinto paso consiste en desarrollar disposiciones para el ajuste de la remuneración del contratista (es decir, incentivos y desincentivos) vinculadas a la calidad calculada (utilizando únicamente datos de pruebas) de cada lote.
Las disposiciones típicas para el ajuste de la remuneración que se encuentran en las especificaciones de control de calidad se presentan en los capítulos 6 y 10.

El paso 6 del desarrollo del plan de aceptación estadística consiste en analizar y establecer los riesgos que conlleva la realización del trabajo según el plan de aceptación seleccionado en los cinco pasos anteriores. La agencia (comprador) puede evaluar su riesgo de aceptar material que en realidad es defectuoso frente al contratista (vendedor), que corre el riesgo de que se rechace material en buen estado.
Estos riesgos se definen generalmente con los siguientes términos:

- Riesgo del vendedor (contratista) = Alfa (α)
- Riesgo del comprador (organismo) = Beta (β)



Los riesgos alfa y beta deben analizarse y, en un plan de aceptación bien redactado, lo ideal es que estén equilibrados.

Estos riesgos suelen fijarse en un rango de más o menos el 5 % tanto para la agencia como para el contratista. Los niveles de riesgo alfa y beta sugeridos se proporcionan en la *Norma de prácticas recomendadas para planes de muestreo de aceptación en la construcción de carreteras* (AASHTO R 9) *de la AASHTO*.

Las curvas de características operativas (OC) y las curvas de pago esperado (EP) pueden ayudar a establecer un reparto equilibrado del riesgo. Una curva OC ofrece una representación gráfica de la relación entre el nivel de calidad (por ejemplo, PWL) de un lote *y* la probabilidad de aceptación. Una curva EP ofrece una representación gráfica del nivel de calidad (por ejemplo, PWL) *frente* al factor de pago esperado.

Fase III: Implementación de especificaciones piloto de control de calidad

La tercera fase para el desarrollo de una especificación de control de calidad sólida es la implementación por etapas de las especificaciones piloto preparadas en la fase II descrita anteriormente. El proceso de implementación de las especificaciones piloto de control de calidad incluye las siguientes actividades:

- Desarrollar e implementar una base de datos de garantía de calidad.
- Garantizar que se disponga de programas de formación y cualificación del personal.
- Garantizar que se haya establecido un programa de cualificación de laboratorios.
- Implementar proyectos piloto.
- Recopilar datos y comentarios sobre los proyectos piloto.

No se puede subestimar la importancia de desarrollar un sistema integral ***de base de datos de garantía de calidad***. La agencia necesita una base de datos de garantía de calidad de la construcción para recopilar y evaluar datos durante la fase piloto de implementación y más allá. Un sistema de base de datos de control de calidad de la agencia correctamente diseñado cumple varias funciones clave, entre ellas: la introducción y el análisis de datos a nivel de proyecto; la revisión de los datos de múltiples proyectos en todo el programa; y la evaluación adicional del plan de aceptación estadística utilizado en las especificaciones. Antes de que comience la implementación piloto de las especificaciones de control de calidad, también es importante garantizar que los programas de cualificación aplicables tanto para el personal del contratista y de la agencia como para los laboratorios estén plenamente implantados de acuerdo con el documento del programa de control de calidad de la agencia.

Una vez preparada la especificación piloto de control de calidad, puesta en marcha la base de datos de control de calidad y establecidos los programas de cualificación del personal y los laboratorios, se pueden iniciar ***los proyectos piloto***. Los proyectos piloto deben implementarse durante un período mínimo de 3 a 5 años. Este período de implementación es necesario para simular todos los aspectos de las especificaciones de control de calidad y recopilar datos significativos de los proyectos piloto y comentarios del personal del proyecto.

Fase IV: evaluar y perfeccionar las especificaciones de control de calidad

La última fase del desarrollo de las especificaciones de control de calidad consiste en evaluar y perfeccionar todos los aspectos de las especificaciones. Esto incluye las siguientes actividades:

- Analizar los datos y comentarios del proyecto piloto.
- Atender los comentarios de los contratistas y las agencias.
- Validar el plan de aceptación estadística.
- Revisar y volver a publicar las especificaciones de control de calidad.
- Reevaluar periódicamente las especificaciones de control de calidad.

Cada una de las cuatro partes de una especificación de control de calidad (requisitos de control de calidad del contratista, requisitos de aceptación de la agencia, disposiciones para la resolución de disputas y plan de aceptación estadística) debe evaluarse en función de los datos de las pruebas y otros comentarios obtenidos de los proyectos piloto implementados en la fase III. El análisis de los datos de las pruebas de control de calidad y de las pruebas de aceptación ayudará a cuantificar mejor la variabilidad inherente de los materiales producidos y colocados.

La información recopilada sobre los criterios de inspección y otros requisitos y procedimientos de las especificaciones de control de calidad piloto debe utilizarse para perfeccionar las especificaciones. Los datos deben utilizarse para validar todos los aspectos del plan de aceptación estadística, incluidos los objetivos, los límites de calidad, las disposiciones de ajuste salarial y la asignación de riesgos de la agencia y el contratista.

Una vez evaluados exhaustivamente los datos y comentarios del proyecto piloto, se deberán incorporar las revisiones oportunas a las especificaciones de control de calidad. Las especificaciones de control de calidad deberán estar listas para su publicación como «especificaciones estándar» o «disposiciones especiales» aprobadas para su uso en todos los proyectos de la agencia. La agencia, en consulta con las organizaciones que participan en el grupo de trabajo inicial sobre especificaciones de control de calidad, deberá reevaluar periódicamente las especificaciones basándose en los datos y comentarios acumulados de forma continua.

3.8 - Resumen de las especificaciones de construcción de transporte

La evolución de las especificaciones de construcción de transporte comenzó con especificaciones de métodos prescriptivas y que requerían una inspección intensiva. Algunas agencias consideraron las especificaciones de resultados finales, pero finalmente las descartaron. Debido a la deficiencia de las especificaciones de resultados finales a la hora de relacionar la calidad con la variabilidad conocida y el rendimiento esperado del producto, las especificaciones de garantía de calidad han evolucionado. En el futuro veremos especificaciones relacionadas con el rendimiento y quizás especificaciones basadas en el rendimiento.

Con las especificaciones de garantía de calidad, los productos de transporte pueden evaluarse utilizando características de calidad de los materiales relacionadas con el rendimiento a largo plazo del producto. A medida que las agencias de transporte recopilan y evalúan los datos de rendimiento reales en comparación con los niveles de calidad de la construcción, las especificaciones de garantía de calidad pueden mejorarse continuamente.

Las agencias deben establecer como objetivo final la implementación de especificaciones relacionadas con el rendimiento, seguidas finalmente por especificaciones verdaderamente basadas en el rendimiento. Sin embargo, antes de que esto se pueda lograr, es necesario implementar primero una especificación de garantía de calidad debidamente desarrollada.

- FIN DEL CAPÍTULO 3 -

CAPÍTULO 4

Fundamentos de la medición de la calidad

medida de calidad, el valor AQL se establece normalmente en torno a 90 o 95 PWL. Por ejemplo, supongamos que el AQL para la resistencia del hormigón se especifica como AQL = 90 PWL. Cuando el valor PWL calculado para tres o más resultados de pruebas evaluados conjuntamente es exactamente 90 PWL, el lote representado garantiza el pago del 100 %. Sin entrar en largas discusiones, el PWL se calcula utilizando un procedimiento estadístico (que contiene cierto grado de variabilidad) para llegar a una «estimación» del PWL para todo un lote de material. Los procedimientos para estimar el PWL se presentan en detalle en el capítulo 8.

El valor PWL estimado para un conjunto determinado de resultados de pruebas será exactamente el AQL establecido (por ejemplo, 90 PWL) o estará por encima o por debajo de él en diversos grados. Cuando

Si el valor estimado del PWL es inferior al AQL (es decir, < 90 PWL), se recibe un pago reducido (es decir, un desincentivo). Si las especificaciones solo permiten el pago completo o un desincentivo, siempre que el cálculo estimado del PWL arroje un valor superior al AQL (es decir, entre 90 y 100 PWL), el pago se limitará siempre a un máximo del 100 %. En este escenario, en el que el programa de ajuste salarial solo incluye desincentivos, el programa salarial siempre se sesgará a la baja. Como resultado, el ajuste salarial medio también se sesgará a la baja y dará lugar a reducciones salariales injustificadas. La forma adecuada de corregir esto es proporcionar un aumento del pago (es decir, incentivos) cuando el valor del PWL sea superior al AQL.

Ventajas de las especificaciones de garantía de calidad

Como se ha comentado brevemente anteriormente, algunas de las características clave y las ventajas correspondientes de las especificaciones de garantía de calidad son las siguientes:

- Los requisitos de control de calidad hacen que el contratista sea responsable de supervisar sus operaciones y producir un producto de calidad en tiempo real.

- El personal de la agencia realiza actividades de aceptación (tanto inspección como pruebas) a medida que avanza el trabajo. (Si se aplica correctamente, esto elimina las situaciones en las que se encuentra una calidad «inaceptable» en el producto final instalado).

- Un plan de aceptación estadística para los datos de las pruebas [illegible] Normalmente se incluye una medida de calidad y unos límites de [illegible] adecuados que reflejan la variabilidad inherente.

- Normalmente se incluyen disposiciones de ajuste salarial. (Proporcionan un mecanismo racional para otorgar un aumento salarial por un trabajo de mayor calidad y aplicar una reducción salarial o medidas correctivas por un trabajo de menor calidad).

3.5 - Especificaciones relacionadas con el rendimiento

Definición de especificaciones relacionadas con el rendimiento

Desde finales de la década de 1980, la evolución de las especificaciones de construcción de transporte se ha centrado en el desarrollo de ***especificaciones relacionadas con el rendimiento***. En un taller celebrado en mayo de 2000 por el Departamento de Transporte de Florida, la FHWA y la NQI, surgió la siguiente definición técnica de especificaciones relacionadas con el rendimiento (especificaciones P-R):

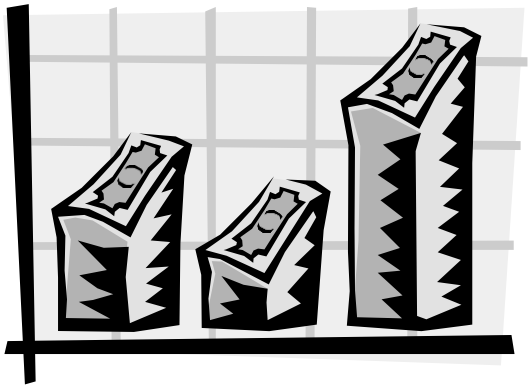
> **Especificaciones relacionadas con el rendimiento**: «Especificaciones que utilizan relaciones cuantificadas entre las características de calidad y el coste del ciclo de vida (LCC) que están correlacionadas con el rendimiento del producto».

En pocas palabras, las especificaciones relacionadas con el rendimiento son especificaciones de garantía de calidad mejoradas. Desde el punto de vista de la gestión, las especificaciones P-R se consideran el puente entre la calidad de la construcción y el rendimiento a largo plazo del producto.

Resumen de las especificaciones relacionadas con el rendimiento

Las principales características distintivas de las especificaciones relacionadas con el rendimiento incluyen:

- Aceptación basada en características clave de calidad que se ha comprobado que guardan correlación con propiedades técnicas fundamentales que predicen el rendimiento.
- Modelos matemáticos utilizados para cuantificar la relación entre las características clave de calidad y el rendimiento del producto.
- Ajustes salariales relacionados con el coste del ciclo de vida (LCC) previsto de los elementos de obra construidos.



Uso de características de calidad vinculadas al rendimiento

Las especificaciones relacionadas con el rendimiento intentan relacionar las características de calidad que se miden con el rendimiento probable del producto instalado. Sin embargo, al igual que las especificaciones de garantía de calidad, solo especifican las características de calidad del producto medidas en el momento de la construcción y no especifican el rendimiento deseado a largo plazo del producto tras la finalización de la construcción. Las pruebas utilizadas para determinar la aceptación con las especificaciones P-R se seleccionan porque las características de calidad que se miden están relacionadas de alguna manera con el rendimiento del producto.

Algunos ejemplos de características de calidad que se relacionan con el rendimiento a largo plazo de las instalaciones de transporte son:

- El total de huecos de aire in situ o la suavidad de rodadura de los pavimentos de asfalto mezclado en caliente.
- La permeabilidad o la resistencia del hormigón de cemento Portland.

Estas características de calidad se prestan al muestreo y las pruebas de aceptación en el momento de la construcción.

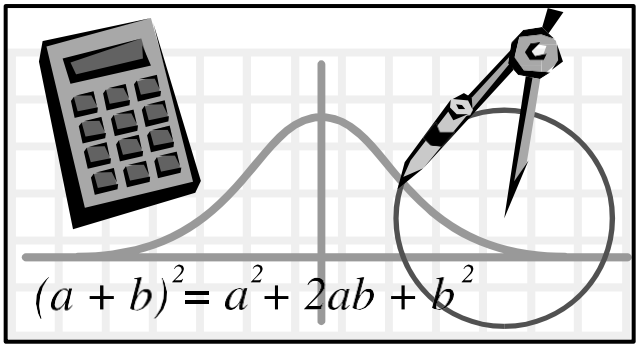
Modelos matemáticos que predicen el rendimiento

Las especificaciones P-R verdaderas no solo describen los niveles deseados de estas características de calidad, sino que también emplean las relaciones cuantificadas (es decir, modelos matemáticos) que contienen las características para predecir el rendimiento posterior del producto. El uso de modelos cuantificables es una característica que distingue las especificaciones relacionadas con el rendimiento de otras especificaciones de construcción de transporte. Los modelos se basan en datos de rendimiento reales y presentan una imagen mucho más clara de lo que influye en el rendimiento de un producto construido

producto construido que la que se puede visualizar solo a través del juicio y la intuición de los ingenieros. Gracias a las recientes investigaciones realizadas en el marco del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP), y por la FHWA y el Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras (NCHRP), ahora es posible relacionar los requisitos de las especificaciones con el rendimiento previsto del producto.

Las especificaciones relacionadas con el rendimiento contienen dos tipos de modelos:

1. Modelos de predicción del rendimiento
2. Modelos de costes de mantenimiento



Los modelos de predicción del rendimiento predicen cuándo y en qué medida un producto de construcción (como un pavimento) presentará un tipo determinado de deterioro, como grietas por fatiga o desprendimiento de juntas. Los modelos de costes de mantenimiento estiman el *coste del ciclo de vida* (LCC) posterior a la construcción, que es el coste de mantenimiento y rehabilitación necesarios a lo largo de la vida útil prevista del producto. Los datos que se introducen en estos modelos incluyen variables de diseño (como la carga de tráfico, los factores climáticos, el drenaje y los factores del suelo) y características de calidad (como el contenido de ligante asfáltico y los huecos de aire, la permeabilidad y la resistencia del hormigón, y la suavidad de rodadura).

Ajuste salarial vinculado al coste del ciclo de vida

Estos modelos proporcionan la base para tomar decisiones racionales de aceptación y/o ajuste salarial. Los ajustes salariales se determinan utilizando dos costes del ciclo de vida diferentes:

- El LCC según el diseño
- El LCC según la construcción

El LCC según diseño se determina utilizando los valores objetivo de las características de calidad especificadas como entradas para los modelos. El LCC según construcción se determina utilizando los valores reales medidos de las características de calidad como entrada. La diferencia entre el LCC según diseño y el LCC según construcción es la base para cualquier ajuste de pago.

LCC según diseño
- LCC según lo construido
= Ajuste salarial

Datos necesarios para desarrollar modelos de rendimiento

La capacidad de desarrollar y utilizar especificaciones válidas relacionadas con el rendimiento depende de la disponibilidad de modelos razonables de predicción del rendimiento y de costes de mantenimiento. Estos modelos solo pueden desarrollarse y validarse mediante datos de buena calidad, entre los que se incluyen:

- Datos de rendimiento de pavimentos y puentes
- Datos sobre la calidad de la construcción
- Datos sobre los costes de construcción
- Datos sobre los costes de mantenimiento

Las agencias de transporte deben utilizar sus sistemas de gestión (pavimento, puentes y mantenimiento) para recopilar estos datos y generar los modelos de predicción del rendimiento y los modelos de costes de mantenimiento necesarios. Lamentablemente, muchos sistemas de gestión no incluyen todos los

archivos de datos anteriores ni los datos relacionados con el LCC. Muchos sistemas de gestión no pueden relacionar la pérdida de rendimiento (medida por el deterioro del estado, la conducción y el valor estructural) con una familia de especificaciones de construcción concreta o con las características de calidad medidas del material/construcción tal y como se ha construido. A falta de datos específicos de las agencias, las investigaciones recientes y en curso de la FHWA y el NCHRP han generado algunos modelos para el desarrollo de especificaciones relacionadas con el rendimiento.

Aplicación de especificaciones relacionadas con el rendimiento

Hasta la fecha, solo unas pocas agencias de transporte han desarrollado especificaciones verdaderamente relacionadas con el rendimiento. La implementación de las especificaciones P-R hasta la fecha se ha centrado únicamente en los pavimentos. En un taller organizado por la FHWA en noviembre de 2006, se informó de que, entre 2000 y 2006, solo cinco estados (California, Florida, Indiana, Tennessee y Wisconsin) habían puesto a prueba especificaciones relacionadas con el rendimiento para pavimentos de hormigón de cemento Portland (PCC). Estos estados utilizaron el software *PaveSpec* 3.0 de la FHWA para el análisis de datos. En el taller también se informó de que, aunque se han realizado muchas investigaciones con especificaciones P-R para pavimentos de mezcla asfáltica en caliente , incluidos WesTrack (Estudio NCHRP n.º 455) y el Estudio NCHRP n.º 9-22, actualmente no hay ningún estado que haya implementado especificaciones completas relacionadas con el rendimiento para pavimentos HMA.

Algunos de los «obstáculos para la implementación» de las especificaciones P-R (para pavimentos de PCC y HMA) citados incluyen:

- Cada especificación P-R requiere un desarrollo específico para cada proyecto.
- El personal del proyecto de construcción debe introducir demasiados datos.
- Aún quedan dudas sobre cómo relacionar con precisión los diseños estructurales, los diseños de mezclas de materiales y las pruebas del proyecto.
- Las agencias de transporte temen que las especificaciones P-R puedan ser manipuladas por los contratistas.

Como resultado de estas importantes cuestiones, no parece probable que las especificaciones P-R se adopten de forma generalizada en un futuro próximo. Incluso si las cuestiones identificadas anteriormente se resolvieran de forma satisfactoria, es muy probable que la aplicación de las especificaciones P-R se limite únicamente a proyectos de transporte grandes o importantes.

3.6 - Especificaciones basadas en el rendimiento

Definición de especificaciones basadas en el rendimiento

Mucho más lejos en el horizonte de la evolución de las especificaciones de construcción de transporte se encuentran ***las especificaciones basadas en el rendimiento***. La Circular de Investigación sobre Transporte n.º E-074 define formalmente las especificaciones basadas en el rendimiento (especificaciones P-B) de la siguiente manera:

> **Especificaciones basadas en el rendimiento**: «Especificaciones de garantía de calidad que describen los niveles deseados de propiedades técnicas fundamentales (por ejemplo, módulo de elasticidad, propiedades de fluencia y fatiga) que son predictores del rendimiento y aparecen en las relaciones de predicción primarias».

Las «relaciones de predicción primarias» contenidas en las especificaciones P-B son modelos que pueden utilizarse para predecir el estrés, el desgaste o el rendimiento a partir de combinaciones de predictores que representan el tráfico, el entorno, los materiales de soporte y las condiciones estructurales.

Descripción general de las especificaciones basadas en el rendimiento

Las características principales de las especificaciones basadas en el rendimiento incluyen:

- Aceptación basada en la medición de las propiedades técnicas fundamentales del producto acabado que predicen el rendimiento.
- Límites de calidad establecidos utilizando una base estadísticamente válida.
- Modelos matemáticos utilizados para cuantificar la relación entre las propiedades técnicas fundamentales medidas y el rendimiento del producto.
- Ajustes salariales basados en el coste del ciclo de vida (LCC) previsto de la infraestructura de transporte construida.

Las especificaciones basadas en el rendimiento se diferencian de las especificaciones relacionadas con el rendimiento en que especifican los niveles deseados de las ***propiedades*** fundamentales reales ***de la ingeniería*** (no las características clave de calidad) que son predictores del rendimiento. Las propiedades fundamentales de ingeniería especificadas (por ejemplo, el módulo de elasticidad, las propiedades de fluencia y las propiedades de fatiga) se utilizan en relaciones de predicción del rendimiento (es decir, modelos matemáticos) que pueden utilizarse para predecir la tensión, el estrés o el rendimiento a partir de combinaciones de predictores que representan las condiciones del tráfico, el medio ambiente y la estructura. En el sentido estricto, las especificaciones basadas en el rendimiento se refieren al rendimiento del producto final in situ y no a cómo se ha construido.

Estado de las especificaciones basadas en el rendimiento

Aún no existen especificaciones P-B completas. Las especificaciones del ligante asfáltico clasificado por rendimiento Superpave (PGAB), que se desarrollaron a través del programa de investigación SHRP, son un ejemplo de especificación parcial basada en el rendimiento. Sin embargo, el PGAB es solo un componente del producto final. Todos los materiales que componen un producto y sus propiedades fundamentales de ingeniería relacionadas deben incluirse para disponer de modelos completos que permitan predecir el rendimiento de ese producto. Otros métodos de ensayo basados en el rendimiento aún no se han desarrollado por completo. Los métodos de ensayo basados en el rendimiento que se han desarrollado aún no son lo suficientemente fáciles de usar como para permitir la realización de ensayos de aceptación oportunos durante la construcción. Actualmente se está llevando a cabo un mayor desarrollo y validación de los ensayos basados en el rendimiento a través de los programas de investigación de la FHWA, el NCHRP y el TRB.

Además, las verdaderas especificaciones basadas en el rendimiento requerirán buenos datos del sistema de gestión para generar y validar los modelos necesarios para determinar los ajustes salariales basados en los costes del ciclo de vida previstos. Como se ha comentado anteriormente, la mayoría de los sistemas de gestión de las agencias no recopilan ni evalúan actualmente todos los datos necesarios para desarrollar los modelos de rendimiento y costes requeridos. En consecuencia, las especificaciones basadas en el rendimiento aún no se han convertido en una herramienta viable para las agencias de transporte.

3.7 - Desarrollo de especificaciones de garantía de calidad

Descripción general del proceso de desarrollo de especificaciones de garantía de calidad

Las especificaciones de garantía de calidad requieren más conocimientos de ingeniería sobre cada producto que las especificaciones de métodos o las especificaciones de resultados finales. Antes de que se pueda implementar plenamente una especificación de garantía de calidad válida con disposiciones de incentivos/desincentivos, es necesario realizar una considerable labor de ingeniería. Antes de desarrollar las especificaciones de garantía de calidad, también debe existir un programa de garantía de calidad de la agencia bien definido y documentado. El objetivo es garantizar que los requisitos de control de calidad del contratista y los requisitos del sistema de aceptación de la agencia estén claramente definidos y puedan desarrollarse más detalladamente en las especificaciones de construcción. El proceso de desarrollo e implementación de una especificación de garantía de calidad requiere las cuatro fases siguientes:

- Fase I: Inicio y planificación de la especificación de control de calidad.
- Fase II: desarrollo de especificaciones piloto de garantía de calidad.
- Fase III: implementación de especificaciones piloto de garantía de calidad.
- Fase IV: evaluación y perfeccionamiento de las especificaciones de control de calidad.

A continuación se describe brevemente cada una de estas cuatro fases.

Fase I: Inicio y planificación de la especificación de control de calidad

La primera fase del desarrollo de la especificación de control de calidad comprende las tres actividades iniciales siguientes:

- Formar un grupo de trabajo sobre especificaciones de control de calidad compuesto por representantes de la agencia y la industria.
- Seleccionar los elementos de trabajo y materiales específicos para la aplicación de la especificación de control de calidad.
- Preparar un esquema de las disposiciones de la especificación de control de calidad.

La agencia de transporte que desarrolle la especificación de control de calidad debe formar un grupo de trabajo. El grupo de trabajo debe incluir tanto a personal de la agencia (estatal, federal, local) como a personal de la industria (asociaciones de contratistas, organizaciones de productores) para garantizar que todos los socios relevantes aporten sus opiniones y conocimientos técnicos disponibles. La representación de la agencia en el grupo de trabajo debe incluir personal de la «Sección de Construcción» y la «Sección de Materiales» de la agencia y, posiblemente, personal de Diseño. Los elementos específicos de la obra y los materiales que la Se debe seleccionar la especificación que se abordará. Como regla general, se recomienda que la agencia seleccione uno o dos elementos relacionados con los principales materiales producidos por el proyecto (por ejemplo, pavimento HMA, pavimento de hormigón, hormigón estructural, movimiento de tierras) para el desarrollo inicial de la especificación de control de calidad. Una vez seleccionado el elemento de trabajo, se debe preparar un borrador del esquema de la especificación. El esquema general debe seguir las partes principales de una especificación de control de calidad que se enumeran a continuación (es decir, requisitos de control de calidad del contratista, requisitos de aceptación de la agencia, disposiciones para la resolución de disputas y un plan de aceptación estadística).

Fase II: desarrollo de especificaciones piloto de garantía de calidad

En la segunda fase, se debe redactar una especificación piloto de garantía de calidad. Independientemente del elemento de trabajo o material seleccionado, una especificación completa de garantía de calidad debe incluir requisitos específicos para cada una de las cuatro (4) partes principales siguientes:

- Parte 1: Establecer los requisitos de control de calidad (QC) del contratista
- Parte 2: Establecer los requisitos de aceptación de la agencia
- Parte 3: desarrollar disposiciones para la resolución de disputas
- Parte 4: desarrollar un plan de aceptación estadística

A continuación se describe brevemente cada una de estas partes de una especificación de control de calidad.

Parte 1: Establecer los requisitos de control de calidad del contratista

La primera parte de una especificación de control de calidad debe indicar claramente los requisitos para cada una de las siguientes funciones de control de calidad del contratista:

- Requisitos mínimos del plan de control de calidad/manual del sistema de calidad
- Requisitos de personal de control de calidad
- Requisitos del laboratorio de control de calidad
- Requisitos mínimos de inspección de control de calidad
- Requisitos mínimos de muestreo y pruebas de control de calidad
- Análisis y documentación de datos de control de calidad

Los requisitos específicos de control de calidad en una especificación piloto de garantía de calidad deben basarse en los criterios y directrices del sistema de control de calidad del contratista descritos en el documento del programa de garantía de calidad de la agencia. La especificación debe exigir un plan de control de calidad específico para cada elemento importante del proyecto que implique materiales producidos por el proyecto. La especificación de garantía de calidad debe incluir un resumen del contenido mínimo requerido en cada plan de control de calidad, así como los requisitos para su presentación. La especificación también puede identificar los requisitos para los manuales del sistema de calidad que deben existir para los materiales estructurales fabricados y los materiales fabricados estándar.

Deben especificarse los requisitos de cualificación del personal y los laboratorios de control de calidad.

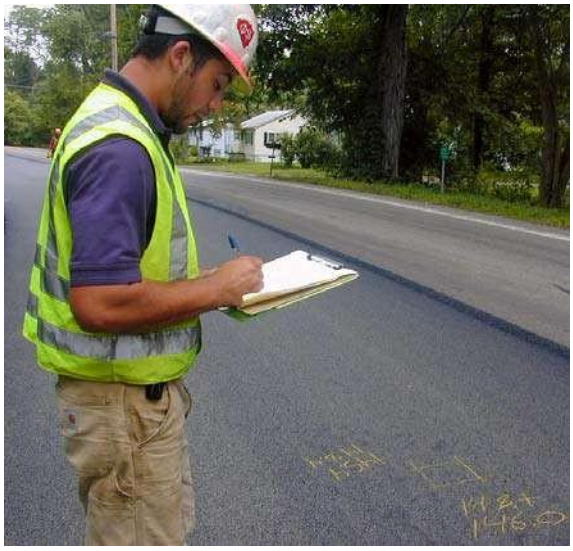
también deben identificarse los elementos mínimos que deben inspeccionarse y las características de calidad que deben someterse a prueba para el control de calidad. Por último, deben especificarse los requisitos para la documentación del contratista y el análisis de los datos de control de calidad, incluyendo: formularios de informes de inspección y pruebas, libros de registro de control de calidad, gráficos de control y nivel de calidad actual.

Los requisitos de control de calidad del contratista que suelen figurar en las especificaciones de garantía de calidad se presentan en el capítulo 5.

Parte 2: Establecer los requisitos de aceptación de la agencia

Los requisitos del sistema de aceptación de la agencia constituyen la segunda parte de una especificación de garantía de calidad y deben abordar lo siguiente:

- Enfoque del sistema de aceptación de la agencia
- Elementos que debe inspeccionar la agencia para la aceptación
- Características de calidad sujetas a pruebas de aceptación (verificación) por parte de la agencia
- Requisitos para la correlación de muestras divididas entre el contratista y la agencia
- Procedimientos para la validación de los datos de control de calidad del contratista
- Procedimientos para identificar valores atípicos
- Procedimientos para la repetición del muestreo y las pruebas
- Disposiciones para la determinación de la calidad y el pago (plan de aceptación)



Los requisitos de aceptación de la agencia en una especificación piloto de garantía de calidad deben seguir los criterios del sistema de aceptación establecidos en el documento del programa de garantía de calidad de la agencia. En primer lugar, las especificaciones deben especificar el enfoque del sistema de aceptación que se utilizará para los datos de inspección y ensayo (es decir, utilizar únicamente los datos de la agencia o incluir datos de control de calidad validados en la determinación de la aceptación). Deben identificarse los elementos clave que serán inspeccionados por la agencia para determinar la calidad de la mano de obra. Las características clave de calidad sujetas a la agencia También deben identificarse las pruebas de aceptación. Deben especificarse los requisitos para la correlación de muestras divididas y la validación de los datos de control de calidad (si se incluyen en la determinación de aceptación). Es importante que también se incluyan procedimientos para la identificación de datos atípicos de las pruebas, junto con procedimientos para el nuevo muestreo o la nueva prueba adecuados. Un plan de aceptación estadística, utilizado para evaluar la calidad del producto basándose en los datos de las pruebas, suele ser el último elemento de los requisitos de aceptación de la agencia (véase la parte 4 más adelante). Los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad para la aceptación se tratan en el capítulo 6.

Parte 3: Desarrollar disposiciones para la resolución de disputas

La tercera parte de una especificación de control de calidad debe proporcionar instrucciones específicas del proyecto para resolver disputas entre el contratista y la agencia. Las disposiciones para la resolución de disputas en una especificación de control de calidad piloto deben basarse en los requisitos del sistema de resolución de disputas descritos en el documento del programa de control de calidad de la agencia. Las disposiciones para la resolución de disputas deben abordar cada uno de los siguientes aspectos:

- Enfoque de resolución de disputas
  - Recurso a terceros
  - Uso del laboratorio de la agencia
- Requisitos de personal para la resolución de disputas
- Requisitos del laboratorio para la resolución de disputas
- Procedimientos para la resolución de disputas

Se debe especificar el enfoque de resolución de disputas, es decir, si se utilizará un tercero u otro laboratorio de agencia (distinto del laboratorio que realiza las pruebas de aceptación para el proyecto) en el proceso de resolución de disputas. También se deben indicar los requisitos de cualificación del personal y los laboratorios que realizan actividades de resolución de disputas. Deben indicarse claramente los procedimientos específicos que deben seguirse en el proceso de resolución de disputas, incluyendo, entre otros: la identificación de la ubicación y los límites de los materiales o la mano de obra en disputa; el uso de muestras divididas; el muestreo y las pruebas adicionales que puedan realizarse; y los procedimientos para actividades de inspección adicionales.

Parte 4: Desarrollar un plan de aceptación estadística

El plan de aceptación es un conjunto de disposiciones dentro de una especificación que detalla cómo se aceptará y pagará el trabajo completado basándose únicamente en los datos de las pruebas. La cuarta parte de una especificación completa de control de calidad suele ser un ***plan de aceptación estadística***. Un plan de aceptación estadística aplica criterios matemáticos basados en la probabilidad para evaluar los datos de las pruebas y determinar la calidad y el pago correspondiente.

El desarrollo de un plan de aceptación estadística implica los siguientes seis pasos:

Paso 1: confirmar el tamaño del lote, el tamaño del sublote y el tamaño de la muestra.
Paso 2: seleccionar la medida de calidad.
Paso 3: analizar los datos históricos de calidad disponibles.
Paso 4: establecer objetivos y límites de calidad.
Paso 5: desarrollar disposiciones de ajuste de pagos.
Paso 6: asignar y evaluar los riesgos.

En el paso 1, se deben confirmar el tamaño del lote y los sublotes establecidos para las pruebas de aceptación en el documento del programa de control de calidad de la agencia. En un taller organizado por la FHWA en noviembre de 2006, se informó de que, para obtener una cantidad significativa de datos de ensayo, el tamaño de muestra recomendado (es decir, el número de muestras por lote) es de un mínimo de 20 a 30 muestras de material por lote. Si se permiten los datos de control de calidad del contratista en la decisión de aceptación, la proporción mínima entre las muestras de control de calidad del contratista y las muestras de aceptación de la agencia es de 4:1 y, preferiblemente, de 2:1.

El paso 2 requiere la selección de la medida matemática de calidad que se utilizará para evaluar los datos de las pruebas y determinar la calidad de cada lote. Las medidas de calidad se explican con más detalle en el capítulo 4.

El paso 3 consiste en analizar los datos históricos aleatorios de las pruebas de la agencia y del contratista para los materiales específicos y las características de calidad que se someterán a prueba para su aceptación. El análisis tiene por objeto identificar el nivel medio (media) de calidad y el grado de variabilidad alcanzado históricamente.

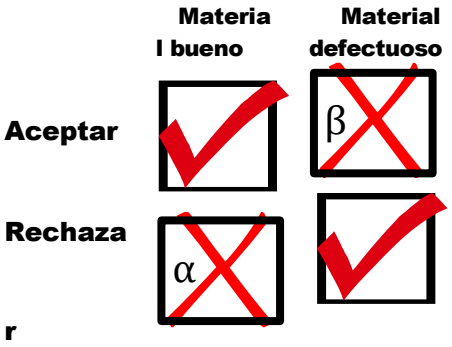
En el paso 4, los resultados del análisis de los datos históricos deben utilizarse para ayudar a establecer objetivos y límites de calidad para cada característica de calidad sometida a prueba para su aceptación.

El quinto paso consiste en desarrollar disposiciones para el ajuste de la remuneración del contratista (es decir, incentivos y desincentivos) vinculadas a la calidad calculada (utilizando únicamente datos de pruebas) de cada lote.
Las disposiciones típicas para el ajuste de la remuneración que se encuentran en las especificaciones de control de calidad se presentan en los capítulos 6 y 10.

El paso 6 del desarrollo del plan de aceptación estadística consiste en analizar y establecer los riesgos que conlleva la realización del trabajo según el plan de aceptación seleccionado en los cinco pasos anteriores. La agencia (comprador) puede evaluar su riesgo de aceptar material que en realidad es defectuoso frente al contratista (vendedor), que corre el riesgo de que se rechace material en buen estado.
Estos riesgos se definen generalmente con los siguientes términos:

- Riesgo del vendedor (contratista) = Alfa (α)
- Riesgo del comprador (organismo) = Beta (β)

Los riesgos alfa y beta deben analizarse y, en un plan de aceptación bien redactado, lo ideal es que estén equilibrados.



Estos riesgos suelen fijarse en un rango de más o menos el 5 % tanto para la agencia como para el contratista. Los niveles de riesgo alfa y beta sugeridos se proporcionan en la *Norma de prácticas recomendadas para planes de muestreo de aceptación en la construcción de carreteras* (AASHTO R 9) *de la AASHTO*.

Las curvas de características operativas (OC) y las curvas de pago esperado (EP) pueden ayudar a establecer un reparto equilibrado del riesgo. Una curva OC ofrece una representación gráfica de la relación entre el nivel de calidad (por ejemplo, PWL) de un lote *y* la probabilidad de aceptación. Una curva EP ofrece una representación gráfica del nivel de calidad (por ejemplo, PWL) *frente* al factor de pago esperado.

Fase III: Implementación de especificaciones piloto de control de calidad

La tercera fase para el desarrollo de una especificación de control de calidad sólida es la implementación por etapas de las especificaciones piloto preparadas en la fase II descrita anteriormente. El proceso de implementación de las especificaciones piloto de control de calidad incluye las siguientes actividades:

- Desarrollar e implementar una base de datos de garantía de calidad.
- Garantizar que se disponga de programas de formación y cualificación del personal.
- Garantizar que se haya establecido un programa de cualificación de laboratorios.
- Implementar proyectos piloto.
- Recopilar datos y comentarios sobre los proyectos piloto.

No se puede subestimar la importancia de desarrollar un sistema integral ***de base de datos de garantía de calidad***. La agencia necesita una base de datos de garantía de calidad de la construcción para recopilar y evaluar datos durante la fase piloto de implementación y más allá. Un sistema de base de datos de control de calidad de la agencia correctamente diseñado cumple varias funciones clave, entre ellas: la introducción y el análisis de datos a nivel de proyecto; la revisión de los datos de múltiples proyectos en todo el programa; y la evaluación adicional del plan de aceptación estadística utilizado en las especificaciones. Antes de que comience la implementación piloto de las especificaciones de control de calidad, también es importante garantizar que los programas de cualificación aplicables tanto para el personal del contratista y de la agencia como para los laboratorios estén plenamente implantados de acuerdo con el documento del programa de control de calidad de la agencia.

Una vez preparada la especificación piloto de control de calidad, puesta en marcha la base de datos de control de calidad y establecidos los programas de cualificación del personal y los laboratorios, se pueden iniciar ***los proyectos piloto***. Los proyectos piloto deben implementarse durante un período mínimo de 3 a 5 años. Este período de implementación es necesario para simular todos los aspectos de las especificaciones de control de calidad y recopilar datos significativos de los proyectos piloto y comentarios del personal del proyecto.

Fase IV: evaluar y perfeccionar las especificaciones de control de calidad

La última fase del desarrollo de las especificaciones de control de calidad consiste en evaluar y perfeccionar todos los aspectos de las especificaciones. Esto incluye las siguientes actividades:

- Analizar los datos y comentarios del proyecto piloto.
- Atender los comentarios de los contratistas y las agencias.
- Validar el plan de aceptación estadística.
- Revisar y volver a publicar las especificaciones de control de calidad.
- Reevaluar periódicamente las especificaciones de control de calidad.

Cada una de las cuatro partes de una especificación de control de calidad (requisitos de control de calidad del contratista, requisitos de aceptación de la agencia, disposiciones para la resolución de disputas y plan de aceptación estadística) debe evaluarse en función de los datos de las pruebas y otros comentarios obtenidos de los proyectos piloto implementados en la fase III. El análisis de los datos de las pruebas de control de calidad y de las pruebas de aceptación ayudará a cuantificar mejor la variabilidad inherente de los materiales producidos y colocados.

La información recopilada sobre los criterios de inspección y otros requisitos y procedimientos de las especificaciones de control de calidad piloto debe utilizarse para perfeccionar las especificaciones. Los datos deben utilizarse para validar todos los aspectos del plan de aceptación estadística, incluidos los objetivos, los límites de calidad, las disposiciones de ajuste salarial y la asignación de riesgos de la agencia y el contratista.

Una vez evaluados exhaustivamente los datos y comentarios del proyecto piloto, se deberán incorporar las revisiones oportunas a las especificaciones de control de calidad. Las especificaciones de control de calidad deberán estar listas para su publicación como «especificaciones estándar» o «disposiciones especiales» aprobadas para su uso en todos los proyectos de la agencia. La agencia, en consulta con las organizaciones que participan en el grupo de trabajo inicial sobre especificaciones de control de calidad, deberá reevaluar periódicamente las especificaciones basándose en los datos y comentarios acumulados de forma continua.

3.8 - Resumen de las especificaciones de construcción de transporte

La evolución de las especificaciones de construcción de transporte comenzó con especificaciones de métodos prescriptivas y que requerían una inspección intensiva. Algunas agencias consideraron las especificaciones de resultados finales, pero finalmente las descartaron. Debido a la deficiencia de las especificaciones de resultados finales a la hora de relacionar la calidad con la variabilidad conocida y el rendimiento esperado del producto, las especificaciones de garantía de calidad han evolucionado. En el futuro veremos especificaciones relacionadas con el rendimiento y quizás especificaciones basadas en el rendimiento.

Con las especificaciones de garantía de calidad, los productos de transporte pueden evaluarse utilizando características de calidad de los materiales relacionadas con el rendimiento a largo plazo del producto. A medida que las agencias de transporte recopilan y evalúan los datos de rendimiento reales en comparación con los niveles de calidad de la construcción, las especificaciones de garantía de calidad pueden mejorarse continuamente.

Las agencias deben establecer como objetivo final la implementación de especificaciones relacionadas con el rendimiento, seguidas finalmente por especificaciones verdaderamente basadas en el rendimiento. Sin embargo, antes de que esto se pueda lograr, es necesario implementar primero una especificación de garantía de calidad debidamente desarrollada.

- FIN DEL CAPÍTULO 3 -

CAPÍTULO 4

Fundamentos de la medición de la calidad

Para ser coherentes con esta definición, el tamaño de los lotes individuales debe especificarse de manera que el ***tamaño del lote*** represente el material que, de hecho, procede de la misma fuente y que se ha producido y colocado esencialmente en las mismas condiciones controladas. El tamaño de los lotes debe establecerse en el programa de garantía de calidad y en las especificaciones de garantía de calidad de una agencia para abordar tanto la inspección como las pruebas de todos los elementos de trabajo.

Las agencias pueden especificar un lote como la cantidad total de material producido y utilizado en un proyecto para un producto o artículo concreto. Una ventaja de especificar la cantidad total del producto como lote es que proporciona más puntos de datos (muestras) con los que evaluar la calidad del lote. Sin embargo, este enfoque presenta algunos inconvenientes inherentes, como los siguientes:

- El lote puede estar compuesto por material producido y colocado durante un período prolongado (de 1 a 2 años o más).
- Es posible que la cantidad total del lote en cuestión no se haya producido y colocado realmente en las mismas condiciones (por ejemplo, cambios en el equipo, las condiciones meteorológicas, la fuente de los materiales, etc.).
- Dado que los ajustes salariales del contrato de garantía de calidad se calculan por lotes individuales, especificar la cantidad total de un artículo concreto como un lote puede dar lugar a un ajuste salarial injusto tanto para la agencia como para el contratista.

Por consiguiente, se recomienda que los tamaños de los lotes se especifiquen como una cantidad de una tirada de producción o una cantidad de material colocado que sea inferior a la cantidad total del producto.

La unidad de medida seleccionada para un lote se especifica normalmente como una cantidad de:

- Tiempo de producción del material (días).
- Masa de material producido (toneladas/megagramos).
- Volumen de material producido (yardas cúbicas/metros cúbicos).
- Área de material in situ (pies cuadrados/metros cuadrados).
- Longitud del material in situ (millas/kilómetros).

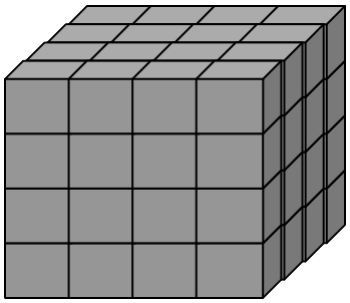
El tamaño del lote y la unidad de medida correspondiente seleccionada dependen de cada atributo de inspección o característica de calidad que se especifique para su evaluación. En las tablas siguientes se presentan ejemplos de tamaños de lote y unidades de medida típicos para algunos atributos de inspección y características de calidad:

Ejemplo de atributo de inspección	Tamaño del lote/unidad de medida
• Temperatura del HMA entregado	• 15 000 toneladas (13 608 Mg) de HMA producido
• Tasa de aplicación de la capa de adherencia	• 25 000 pies lineales (7620 metros lineales) de superficie pavimentada
• Dimensiones finales del PCC	• Longitud total (pies) del elemento de PCC
• Defectos en la superficie de PCC (agrietamiento)	• 5000 pies cuadrados (465 m^2) de superficie de PCC

Ejemplo de característica de calidad	Tamaño del lote/unidad de medida
• Densidad del suelo in situ	• 7500 pies lineales (2286 metros lineales) de subbase de carretera
• Gradación del agregado de alimentación en frío	• 5 días de producción de mezcla
• Espesor de HMA	• 25 000 pies lineales (7620 metros lineales) de superficie de pavimento
• Contenido de aire del PCC	• 1250 yardas cúbicas (956 m^3) de PCC colocado

Enumeración completa

Para medir un atributo de inspección concreto o una característica de calidad de un lote, podríamos inspeccionar o probar cada parte del lote. Por ejemplo, supongamos que queremos determinar la resistencia al corte de los pernos estructurales de un lote de 5000 pernos estructurales utilizados en un proyecto de puente. Podríamos tomar muestras y probar cada perno estructural del lote (es decir, 5000 muestras individuales). Sin embargo, no nos quedarían pernos para utilizar en el proyecto. Este enfoque se denomina **«enumeración completa»**.

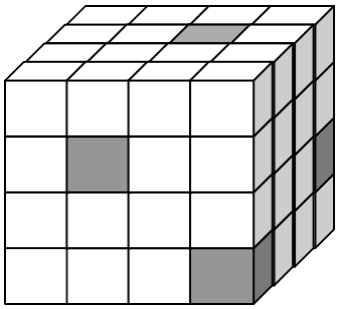


Enumeración completa

Del mismo modo, supongamos que queremos determinar el contenido de aire del PCC en un lote de 1500 yardas cúbicas (1147 m^3) de PCC colocado en el tablero de un puente. Podríamos tomar muestras y analizar cada yarda cúbica (metro cúbico) de PCC del lote. Esto requeriría tomar y analizar 1500 muestras individuales de PCC. Aunque técnicamente no se trata de un recuento completo (es decir, no hemos tomado muestras de todo el PCC del lote), seguiría representando una cantidad significativa de muestreo y análisis del lote de PCC.

Muestra estadística

Obviamente, no es práctico ni rentable para nosotros inspeccionar o analizar ningún lote mediante un recuento completo o por medios que se acerquen al recuento completo. Por consiguiente, esta es la razón por la que solo obtenemos una ***muestra estadística*** de un lote para llegar a una medición estimada de los atributos de inspección o las características de calidad de ese lote. El término muestra estadística (también llamada ***muestra***) se define de la siguiente manera:



Muestra estadística
(Recuadro oscuro = Muestra

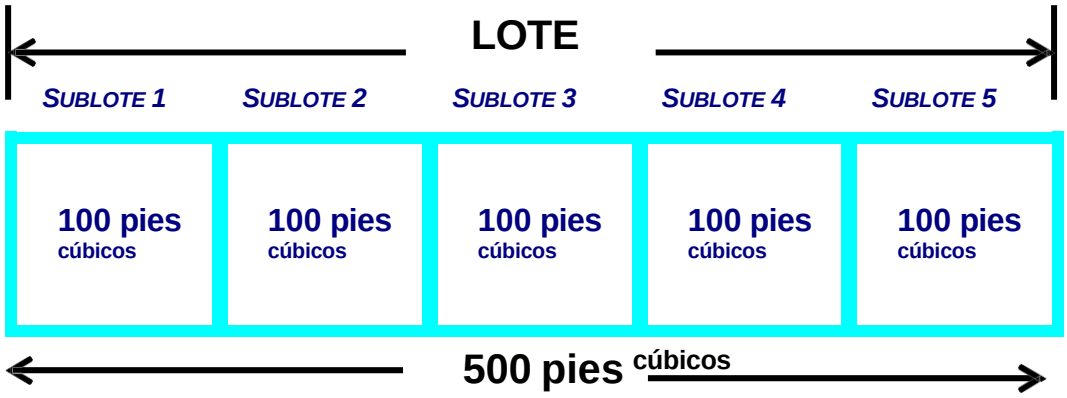
> **Muestra estadística**: «Todas las muestras obtenidas de un lote que proporcionan información que puede utilizarse para cuantificar la calidad de todo el lote».

Sublotes

Los lotes suelen dividirse en cantidades más pequeñas de tamaño uniforme, denominadas ***sublotes*.** Por consiguiente, un sublote se define de la siguiente manera:

> **Sublote**: «Una subdivisión de un lote».

Una subpartida es una división o parte igual (normalmente) de una partida de la que se obtiene una muestra de material con el fin de evaluar los atributos de inspección o las características de calidad de la partida. Las subpartidas se establecen para garantizar que las muestras de material obtenidas de la partida no se concentren todas en un solo lugar. Las subpartidas permiten tomar muestras de diferentes segmentos (principio, mitad, final) de la partida.



El tamaño de los sublotes debe identificarse en el programa de control de calidad y las especificaciones de control de calidad de la agencia para abordar los atributos de inspección y las características de calidad que se van a medir. El contratista debe inspeccionar y probar todos los sublotes para el control de calidad. Si una agencia decide incluir datos de control de calidad validados en su determinación de aceptación, puede optar por inspeccionar y probar solo algunos de los sublotes. Las directrices publicadas por la FHWA en 2007 recomiendan que, cuando se incluyan datos de control de calidad del contratista en la determinación de aceptación de la agencia, se obtengan como mínimo entre 7 y 10 resultados de aceptación de la agencia y se validen frente a un máximo de entre 20 y 30 resultados de control de calidad del contratista. El objetivo es garantizar que los procedimientos de validación puedan proporcionar una comparación razonable de los dos conjuntos de datos. Una forma de abordar esta cuestión es limitar el número de sublotes de cada lote a un máximo de entre 20 y 30 sublotes.

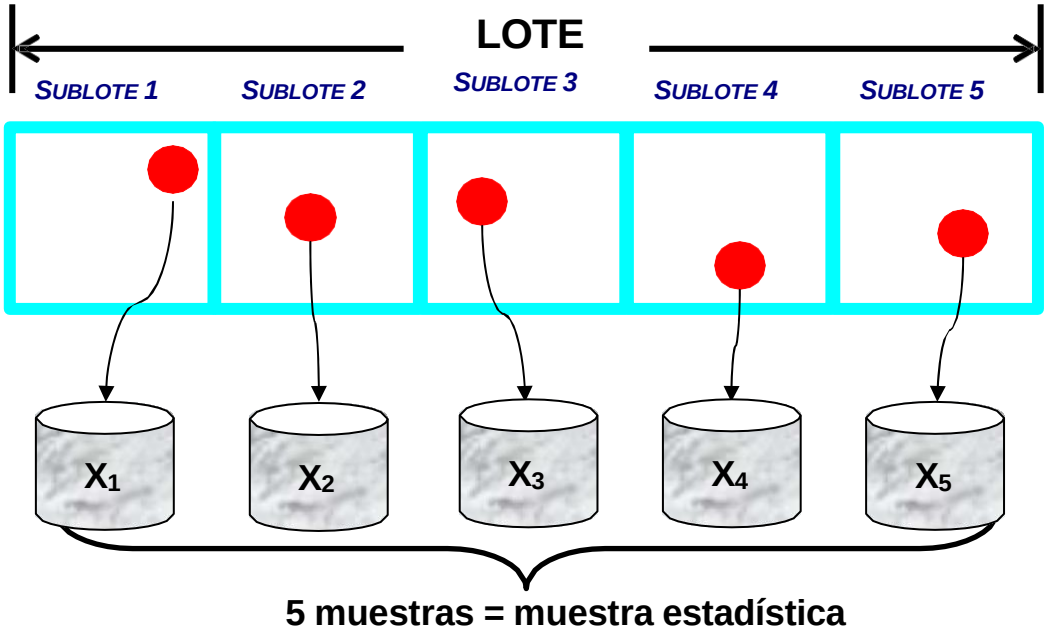
Muestra

Una ***muestra*** puede referirse tanto a un punto de inspección (es decir, un examen visual o una medición física) como a una muestra individual de material obtenida para su análisis. El término «muestra» (también denominado ***«muestra de material»***) se define de la siguiente manera:

Muestra: «Pequeña cantidad de material o medición obtenida de un sublote o lote».

Tenga en cuenta que el término «muestra» también es utilizado por los matemáticos para denotar una «muestra estadística». El término muestra estadística se refiere a múltiples muestras que se obtienen del lote y no debe confundirse con una muestra de material individual. Cada muestra se incluye en la muestra estadística global de un lote determinado.

Normalmente, se obtiene una muestra de cada sublote de material para el control de calidad o la aceptación. Cada muestra se suele indicar con el término **«x_i»**. Por ejemplo, la notación «x_1, x_2, x_3» representa los resultados individuales de las muestras obtenidas del sublote 1, el sublote 2 y el sublote 3, respectivamente.



Para obtener una muestra estadística matemáticamente válida, un lote debe contener un mínimo de tres (3) muestras. Sin embargo, se recomienda que cada lote esté representado por un número mayor de muestras (normalmente entre 7 y 30). Normalmente, solo se obtendrá una muestra aleatoria de cada sublote para el control de calidad o la aceptación. En la siguiente tabla se presentan ejemplos de tamaños típicos de sublotes y el número correspondiente de muestras (n) para un lote:

Tamaño del lote	Tamaño del sublote	Muestras por lote (n)
7500 pies lineales (2286 metros lineales) de subrasante	300 pies (91 metros)	25
5 días de producción de mezcla	1 día	5
15 000 toneladas (13 608 Mg) de HMA	500 toneladas (454 Mg)	30
25 000 pies lineales (7620 metros lineales) de superficie de pavimento	1000 pies (305 metros)	25
1250 yardas cúbicas (956 m^3) de hormigón de cemento Portland	50 yardas cúbicas (38 m^3)	25
5000 pies cuadrados (465 m^2) de PCC	46 m^2	10

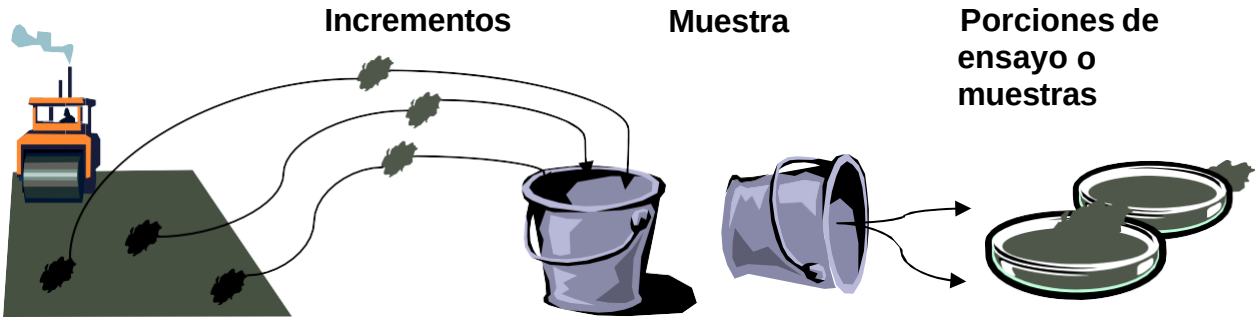
Aumentar el número de muestras proporciona una estimación más precisa de la calidad de un lote. Esto puede reducir el riesgo de que una agencia acepte un producto o material de menor calidad y reducir el riesgo de que los contratistas vean rechazado un material que se encuentra en un nivel de calidad aceptable o superior.

Los resultados de las pruebas de las muestras individuales de cada sublote se evalúan matemáticamente en conjunto para determinar la calidad general del lote. A continuación se analiza el tipo de muestreo necesario para garantizar que las muestras proporcionen una representación válida del lote.

Incrementos frente a porciones de prueba o muestras

Una muestra puede estar compuesta por uno o más ***incrementos*** de igual tamaño que se han obtenido del lugar de muestreo y se han combinado. Los protocolos de inspección para el examen visual y la medición física deben indicar si se deben obtener múltiples mediciones (es decir, incrementos). El número de incrementos que se deben obtener y combinar para formar una muestra de material para su ensayo se especifica normalmente en *los métodos de muestreo y ensayo* pertinentes de la AASHTO o la ASTM.

Cuando se prepara una muestra de material para su ensayo, esta puede dividirse en varias ***porciones*** o ***muestras de ensayo***. Una vez más, la AASHTO o la ASTM suelen especificar si es necesario preparar y someter a ensayo varias muestras para un método de ensayo determinado. Por ejemplo, el ensayo de resistencia del PCC requiere que se preparen y sometan a ensayo dos (2) muestras a partir de una muestra de material individual. Del mismo modo, el ensayo de HMA en un compactador giratorio requiere que se preparen y sometan a ensayo dos muestras. El resultado final del ensayo de una muestra individual será la media de los valores de ensayo obtenidos de las dos muestras.



4.5 - Muestreo sesgado

Para obtener una muestra estadística válida de un lote determinado de material, es importante que las muestras individuales se seleccionen de manera que cada muestra del lote tenga la misma probabilidad de ser elegida. Para ello, debe aplicarse una técnica de muestreo basada en la selección aleatoria. Si la selección de las muestras no se basa en un procedimiento aleatorio, la muestra estadística estará sesgada y, por lo tanto, no será verdaderamente representativa del lote de material. Este proceso de selección no aleatorio se denomina ***muestreo sesgado***. En consecuencia, el muestreo sesgado se define de la siguiente manera:

> **Muestreo sesgado**: «Procedimiento de muestreo en el que las muestras obtenidas de un lote no tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas».

Los enfoques sesgados convencionales de muestreo que han utilizado las agencias y los contratistas incluyen los siguientes:

- Muestreo representativo
- Muestreo por intervalos uniformes
- Muestreo por cuotas
- Muestreo selectivo

Las tres primeras formas de muestreo sesgado enumeradas anteriormente no tienen absolutamente ningún lugar en el control de calidad. El muestreo selectivo tiene una aplicación limitada en un entorno de control de calidad para el control de calidad o cuando se aíslan materiales defectuosos conocidos, como se explica más adelante. A continuación se explica brevemente cada uno de estos tipos de muestreo sesgado.

Muestreo representativo

Lamentablemente, el concepto ***de muestra representativa*** única sigue persistiendo entre el personal de la construcción y los materiales. Una muestra representativa se define en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

> **Muestra representativa**: «Una muestra única y no aleatoria que, en opinión del muestreador, representa una condición promedio de un material o un elemento de construcción».

Muchas agencias y contratistas han operado bajo la creencia de que el resultado de una sola muestra, denominada representativa, obtenida en un lugar a discreción del muestreador, indica la verdadera calidad del producto inspeccionado o del material sometido a prueba. Además, persiste la creencia de que, si un resultado individual no se ajusta a los requisitos de la especificación, hay algo que no está bien en el material, la construcción, el muestreo, la inspección o las pruebas.

Muestra representativa
(Cuadro oscuro = Muestra obtenida)

Por el contrario, el término «muestra representativa» es realmente un nombre poco apropiado, ya que dicha muestra no proporciona una representación significativa de un lote de material. Debe entenderse que una o dos muestras individuales
Las muestras representativas no ofrecen una imagen válida de la variabilidad real del material o producto que se está evaluando. Según la probabilidad, el resultado de una sola muestra podría estar dentro o fuera de los requisitos de especificación por casualidad y deberse a la variabilidad inherente al material, o bien a variaciones en el muestreo, la inspección o las pruebas.

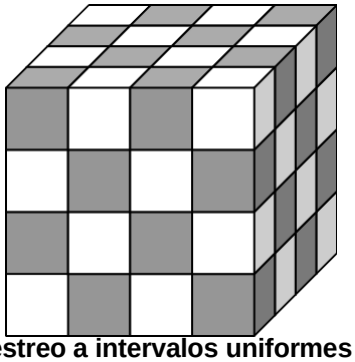
Muestreo por intervalos uniformes

La segunda forma de muestreo sesgado que a veces utilizan los contratistas y las agencias es ***el muestreo a intervalos uniformes***. Como su nombre indica, el muestreo a intervalos uniformes se define de la siguiente manera:

> **Muestreo a intervalos uniformes**: «Procedimiento no aleatorio en el que las muestras se obtienen a intervalos fijos de producción o cantidad de material».

Casi todas las agencias han establecido «programas orientativos» que indican la frecuencia requerida de muestreo y ensayo para diversos materiales. Un ejemplo de frecuencia del programa guía podría ser una muestra de PCC por cada 150 yardas cúbicas (115 m^3) colocadas. Esta frecuencia de muestreo puede aplicarse de forma inadecuada si se obtiene la primera muestra de material en el punto en el que se colocan 150 yardas cúbicas (115 m^3) de PCC, seguida de una muestra cuando cada intervalo posterior de 150 yardas cúbicas (115 m^3) se ha alcanzado. Obviamente, este muestreo a intervalos uniformes introduce un sesgo en la muestra estadística, ya que ningún material colocado dentro de cada intervalo tiene la oportunidad de ser muestreado.

El muestreo a intervalos uniformes protege contra defectos conocidos y desconocidos en cada intervalo fijo; sin embargo, no protege contra ciclos y patrones de variabilidad del material en todo el lote.

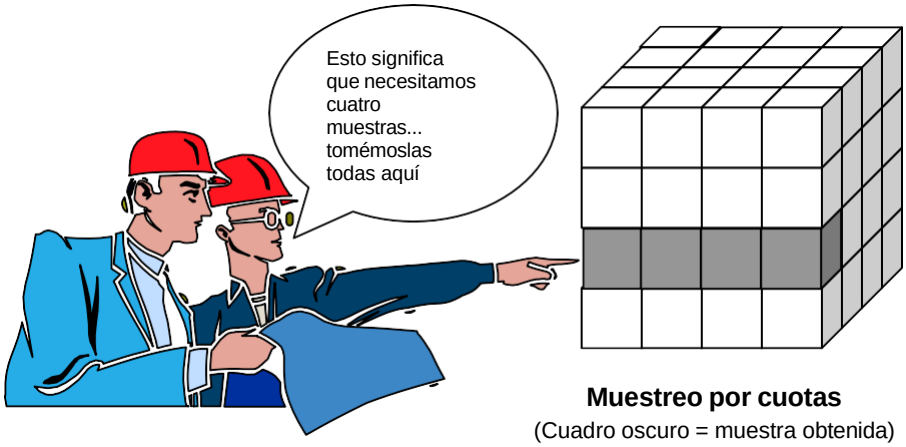


Muestreo a intervalos uniformes
(Cuadro oscuro = Muestra obtenida)

Muestreo por cuotas

Al igual que el muestreo representativo y el muestreo a intervalos uniformes, ***el muestreo por cuotas*** también introducirá un sesgo en la muestra estadística. El muestreo por cuotas se define de la siguiente manera:

> **Muestreo por cuotas**: «Procedimiento no aleatorio en el que las muestras se obtienen a discreción y conveniencia del muestreador para satisfacer el número requerido de muestras para un lote».



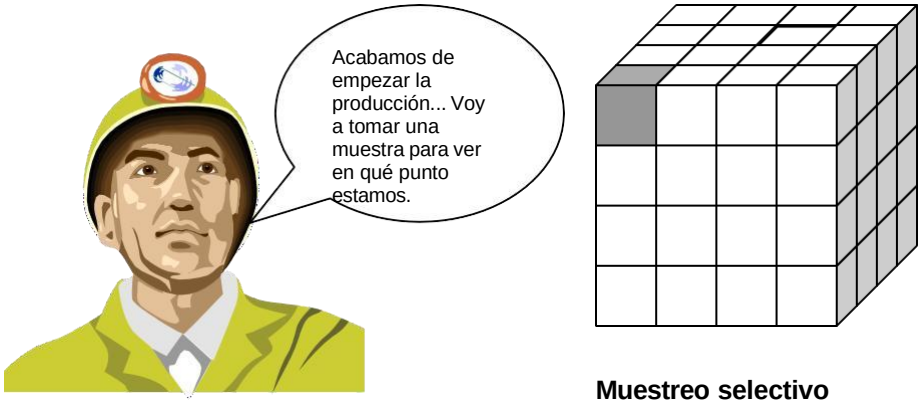
Muestreo por cuotas
(Cuadro oscuro = muestra obtenida)

Como ejemplo, supongamos que se utiliza la misma frecuencia del programa guía que se ha utilizado anteriormente, es decir, una muestra de PCC por cada 150 yardas cúbicas (115 m^3) colocadas. Supongamos también que la cantidad total de PCC que se va a colocar es de 1500 yardas cúbicas (1150 m^3). Utilizando el método de muestreo por cuotas, se determinaría antes de la colocación que se requieren un mínimo de 10 muestras (1500 yardas cúbicas x 1 muestra/150 yardas cúbicas o 1150 metros cúbicos x 1 muestra/115 m^3) del lote de PCC. A continuación, el muestreador obtendría las 10 muestras de cualquier lugar (las primeras 150 yardas cúbicas, las últimas 150 yardas cúbicas, etc.) dentro del lote de 1500 yardas cúbicas (1150 m^3), siempre que se cumpliera el número requerido de muestras de material. El muestreo por cuotas introduce una distribución subjetiva del proceso de muestreo y no protege contra defectos desconocidos en todo el lote.

Muestreo selectivo

La última forma de muestreo sesgado que se va a tratar es ***el muestreo selectivo***. El muestreo selectivo se define de la siguiente manera:

> **Muestreo selectivo**: «Procedimiento no aleatorio en el que se obtiene una muestra solo con fines informativos para orientar las acciones de control de calidad o aceptación».



Muestreo selectivo
(Cuadro sombreado = Muestra obtenida)

Las dos aplicaciones principales del muestreo selectivo son:

1) Proporcionar información inicial o complementaria sobre el control de calidad durante la producción o la colocación.
2) Ayudar a aislar el material que aparentemente no cumple con las especificaciones.

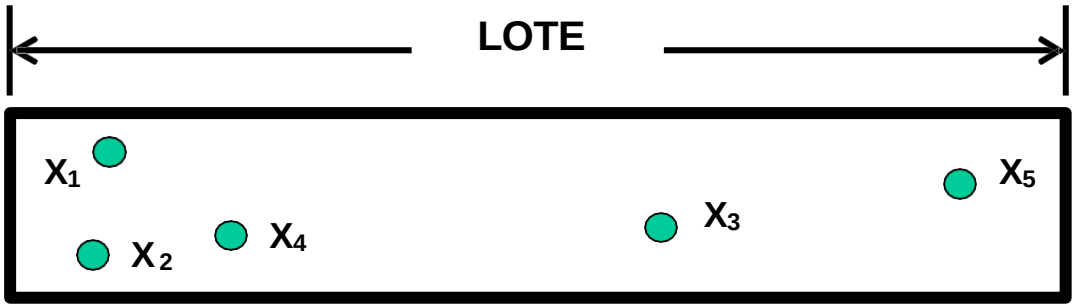
Aunque el muestreo y las pruebas de control de calidad deben ser aleatorios, es posible que un contratista desee obtener una muestra selectiva poco después del inicio de la producción o la colocación, solo para proporcionar alguna indicación de si el material parece cumplir los requisitos de las especificaciones. Si en algún momento durante la producción y la colocación algún material parece no cumplir las especificaciones, el contratista o la agencia pueden optar por obtener una muestra selectiva. Sin embargo, esto es solo para información del contratista o de la agencia. Los resultados de las muestras selectivas no deben incluirse en la determinación de aceptación de la agencia. Si los resultados de una muestra selectiva indican que se ha localizado material que no cumple con las especificaciones, entonces se debe realizar un muestreo aleatorio adicional dentro del sublote correspondiente, como se explica a continuación.

4.6 - Muestreo aleatorio

Muestreo aleatorio

Para eliminar el sesgo, las muestras de material (tanto de control de calidad como de aceptación) obtenidas bajo garantía de calidad deben seleccionarse mediante ***muestreo aleatorio.*** En consecuencia, el muestreo aleatorio se define de la siguiente manera:

> **Muestreo aleatorio**: «Procedimiento de muestreo en el que cada muestra obtenida del lote tiene la misma probabilidad de ser seleccionada».



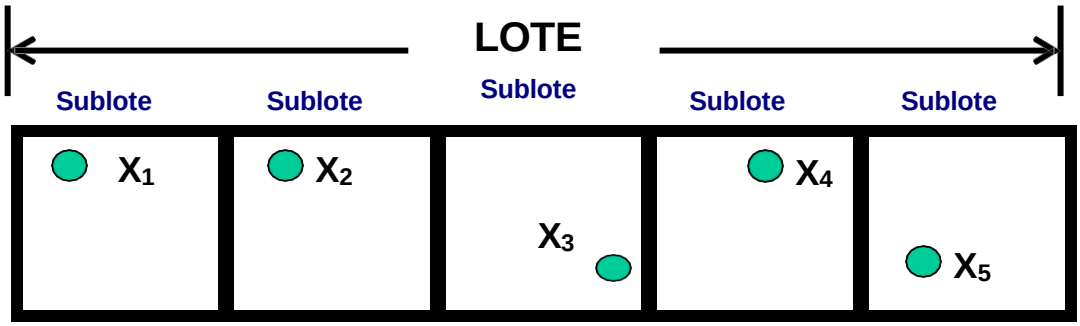
El procedimiento de muestreo aleatorio que se utiliza normalmente en la construcción de infraestructuras de transporte es
ASTM D 3665: Práctica estándar para el muestreo aleatorio de materiales de construcción. Esta norma utiliza tablas de números aleatorios para determinar la ubicación aleatoria de cada muestra de material. Otro método aceptable para obtener números aleatorios es utilizar la función de generador de números aleatorios de una calculadora electrónica o un ordenador.

El muestreo aleatorio protege contra defectos conocidos, defectos desconocidos, ciclos y patrones. Tiene un riesgo inherente bajo, un riesgo bajo en situaciones desconocidas y una alta fiabilidad. Además, no requiere un muestreador experto (que conozca los patrones). En realidad, el muestreo aleatorio proporciona una estimación imparcial de los atributos o características de calidad de un lote determinado.

Muestreo aleatorio estratificado

Como se ha explicado anteriormente, los lotes se dividen en sublotes para garantizar que las muestras de material obtenidas del lote no se concentren todas en un solo lugar. Los sublotes permiten tomar muestras de segmentos iguales del lote (principio, mitad y final del lote). Por eso, la forma de muestreo que se utiliza normalmente en las especificaciones de garantía de calidad es ***el muestreo aleatorio estratificado***. El muestreo aleatorio estratificado se define de la siguiente manera:

> **Muestreo aleatorio estratificado**: «Procedimiento de muestreo mediante el cual se obtienen muestras aleatoriamente de cada sublote».



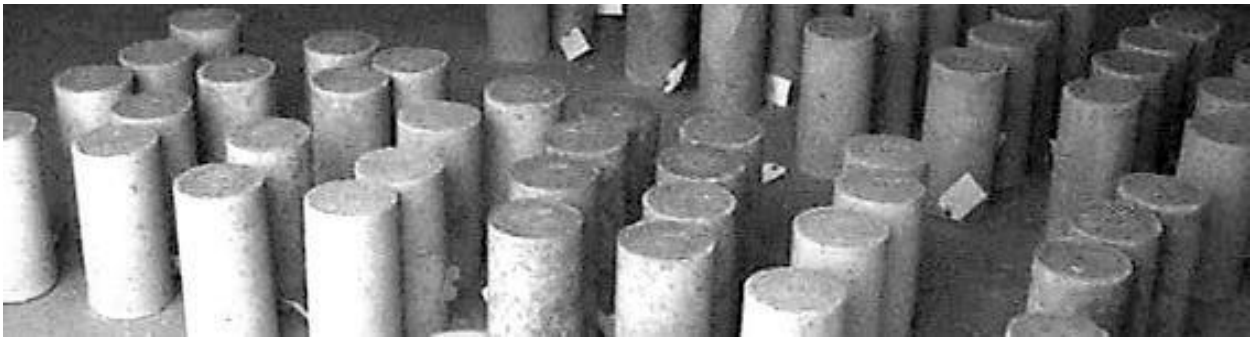
El muestreo aleatorio estratificado se utiliza para garantizar que se obtengan muestras aleatorias de todo el lote.
Sin el muestreo aleatorio estratificado, es posible, utilizando el muestreo aleatorio simple, que todas las muestras aleatorias se seleccionen en la primera mitad de un lote. En el capítulo 8 se presentan algunos ejemplos de cómo determinar correctamente las ubicaciones del muestreo aleatorio estratificado.

4.7 - Calidad de los materiales y variabilidad inherente

Variabilidad

La variabilidad existe en todos los materiales de construcción. Es uno de los factores clave que forma parte integral del control de calidad y debe entenderse claramente. La variabilidad en los materiales y productos de transporte se define de la siguiente manera:

> **Variabilidad**: «Diferencias en los valores medidos en las pruebas para una característica de calidad determinada dentro de un patrón estable debido al azar, o fuera de este patrón normal debido a una causa asignable».



La variabilidad se puede controlar, pero no eliminar. En el caso de los materiales de construcción, incluso bajo una producción controlada, es de esperar que se produzca cierta variación en un lote determinado. Este es quizás uno de los hallazgos más importantes de la prueba en carretera de la AASHO (la AASHO se convirtió en la AASHTO en la década de 1970) realizada en Ottawa, Illinois, en 1959. Incluso con inspectores bien formados, laboratorios de ensayo bien equipados, contratistas competentes y un esfuerzo intensivo por parte de los responsables de la prueba en carretera, no fue posible cumplir al 100 % las especificaciones de la prueba en carretera de la AASHO. Es importante tener en cuenta, al medir cualquier característica de calidad de un material, que cada material y proceso tiene cierta variabilidad inherente.

Variabilidad inherente

En la construcción de infraestructuras de transporte, queremos minimizar la variabilidad. El nivel de calidad de cualquier material o producto está asociado al nivel de variabilidad. Hay cuatro (4) componentes o fuentes principales de ***variabilidad inherente*** en los resultados de las pruebas individuales de las muestras de materiales. Estos componentes de variabilidad inherente son:

- Variabilidad del muestreo
- Variabilidad de las pruebas
- Variabilidad del material
- Variabilidad de la construcción (producción y colocación)

A continuación se analiza cada una de estas fuentes de variabilidad inherente.

La variabilidad del muestreo se debe a la variación inherente a los métodos o procedimientos de muestreo utilizados para obtener una muestra de material. Incluso cuando la persona que obtiene la muestra sigue cuidadosamente los métodos o procedimientos de muestreo estándar, se producirá cierta variabilidad en el muestreo.

Del mismo modo, ***la variabilidad de los ensayos*** es el resultado de la variación inherente a la realización de un método de ensayo y de la variación inherente al equipo de ensayo. Incluso cuando la persona que realiza un ensayo sigue cuidadosamente los métodos de ensayo estándar e incluso cuando el equipo de ensayo está correctamente calibrado, se producirá cierta variabilidad en los ensayos.

La variabilidad adicional en el muestreo y en las pruebas (es decir, más allá del rango esperado o aceptado) puede introducirse a través de desviaciones de los métodos de muestreo y procedimientos de prueba estándar por parte de la persona o personas que realizan el muestreo y las pruebas, o como resultado de un equipo de prueba que no está debidamente calibrado o que no funciona correctamente. Se ha afirmado que la variabilidad del muestreo y de los ensayos, combinadas, representan hasta el 50 % de la variación total general en los resultados de los ensayos. Es importante no agravar ni aumentar el rango esperado de variabilidad inherente debido a prácticas descuidadas. Por eso es importante que el personal encargado del muestreo y los ensayos esté debidamente formado y cualificado. El cumplimiento constante y cuidadoso de los procedimientos adecuados de muestreo y ensayo puede minimizar estos dos componentes de la variabilidad inherente general.

La variabilidad de los materiales se debe esencialmente a la variación inherente que existe de forma natural en un material determinado. Es bastante poco realista esperar una homogeneidad perfecta en cualquier fuente de materiales de construcción, ya sean materias primas o procesadas (suelos, áridos, HMA, PCC, acero, pintura). Como afirma Willenbrock:

«La naturaleza evita los absolutos:
la variación es la norma».

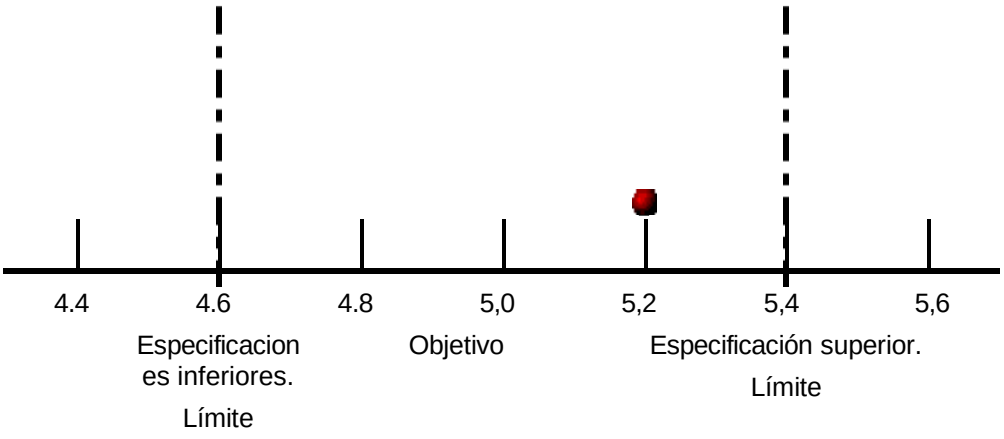
La variación inherente a la mayoría de los materiales de construcción, en términos relativos, suele ser pequeña.

La variabilidad en la construcción es el resultado de la variación inherente a los métodos de producción y las operaciones de construcción. La mayor parte de la variabilidad en la construcción se atribuye generalmente al proceso de producción y colocación. Se puede introducir una variabilidad adicional en la construcción (es decir, más allá del rango esperado o aceptado) a través de métodos de producción y operaciones de construcción inconsistentes. Por eso es esencial un control de calidad bueno y consistente, tanto en la planta como en el campo, para minimizar la cantidad de variabilidad en la construcción como componente de la variabilidad inherente general.

Relación entre la variabilidad inherente y la calidad

Una vez comprendido el principio de la variabilidad inherente, podemos ilustrar cómo el muestreo aleatorio y la variabilidad inherente se relacionan con la calidad de un lote determinado de material mediante los siguientes ejemplos simplificados de muestreo.

Ejemplo 4-A: Un técnico obtiene aleatoriamente una muestra de material de HMA (muestra estadística de n = 1) de un lote de 50 toneladas (45 Mg) de HMA y determina el contenido de ligante asfáltico PG de esta muestra. El resultado de la prueba de esta muestra única se representa a continuación en función de los límites objetivo y de especificación.

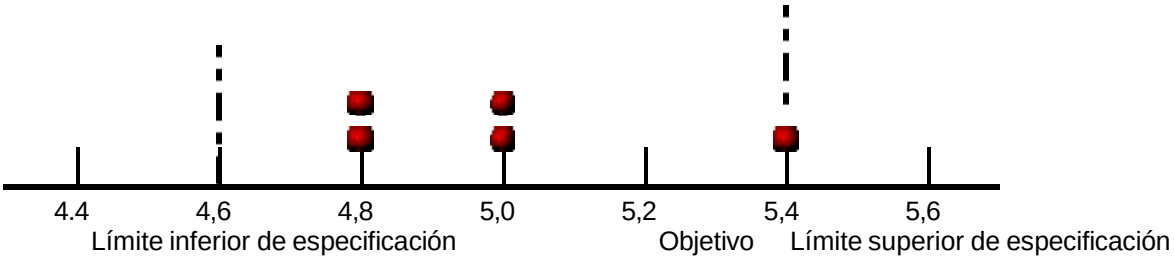


(Ejemplo 4-A: contenido de PGAB para una muestra estadística de n = 1)

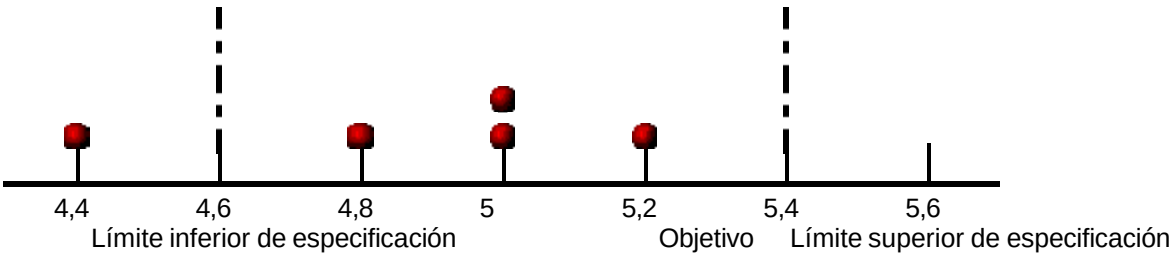
Ejemplo 4-A - Pregunta: ¿En qué medida este resultado de muestra individual representa el contenido probable de aglutinante PG para cada muestra de material del lote completo de 50 toneladas (45 Mg) de HMA?

Ejemplo 4-A - Respuesta: ¡No lo representa! No podemos utilizar una sola muestra para determinar si el material cumple o incumple las especificaciones. Como se ha comentado anteriormente, una sola muestra representativa o incluso una sola muestra aleatoria no ofrece una imagen válida de la variabilidad real de la característica de calidad del material que se está evaluando. Un tamaño de muestra de n = 1 no proporciona una muestra estadística significativa.

Ejemplo 4-B: El mismo técnico obtiene ahora aleatoriamente dos muestras estadísticas separadas de cinco muestras de material (dos muestras estadísticas de n = 5) del mismo lote de 50 toneladas (45 Mg) de HMA y determina el contenido de ligante asfáltico PG de cada muestra. Los resultados de las pruebas de cada muestra estadística de cinco muestras de material se representan a continuación en función de los mismos límites objetivo y de especificación.



(Ejemplo 4-B: contenido de PGAB para la muestra estadística n.º 1)



(Ejemplo 4-B: contenido de PGAB para la muestra estadística n.º 2)

Ejemplo 4-B - Pregunta: ¿Cuál de las dos muestras estadísticas (n.º 1 o n.º 2) anteriores es más representativa del contenido probable de aglutinante PG de todo el lote de 50 toneladas (45 Mg) de HMA?

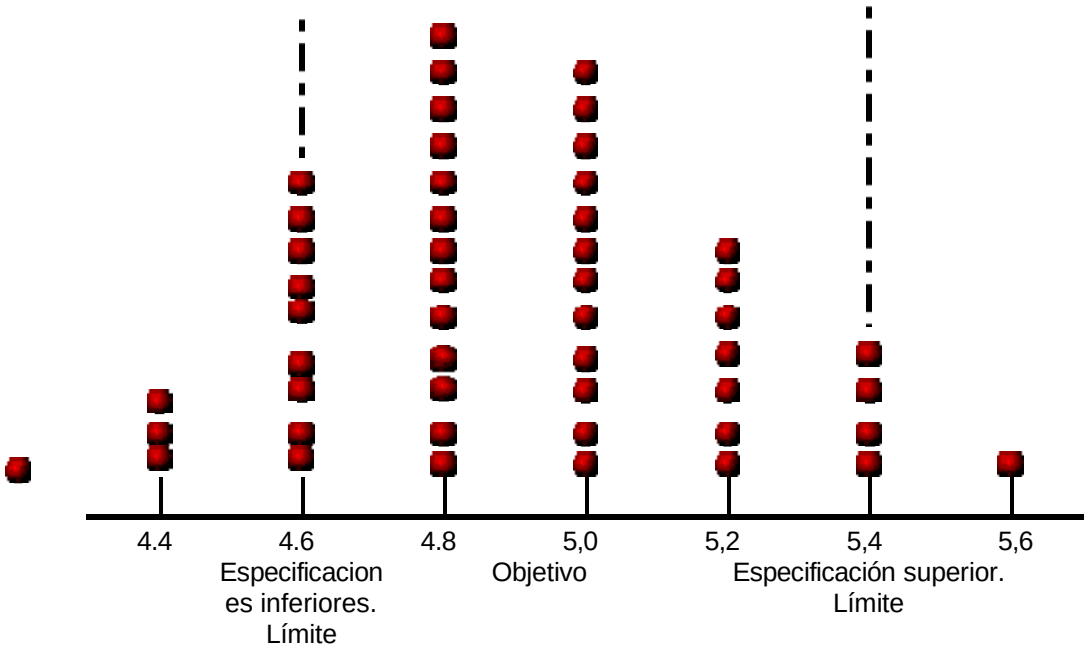
Ejemplo 4-B - Respuesta: ¡Ninguna de las dos! Cada muestra estadística muestra cierta variabilidad. Ambas muestras estadísticas son representativas del contenido de aglutinante PG del lote de HMA.

Ejemplo 4-B - Pregunta: Para la muestra estadística n.º 2, ¿debería rechazarse el material representado por el resultado de la prueba de la muestra única (4,4) que supera el límite inferior de especificación (LSL)?

Ejemplo 4-B - Respuesta: ¡No! Según la probabilidad, el resultado de la prueba de una sola muestra de material podría estar dentro o fuera de los límites de especificación por casualidad y deberse a la variabilidad inherente. No se debe utilizar un solo resultado de prueba para aceptar o rechazar el material.

Una forma de obtener una imagen más completa de la variabilidad real del contenido de ligante asfáltico PG del lote de 50 toneladas (45 Mg) de HMA de los ejemplos 4-A y 4-B anteriores sería analizar una muestra de material de cada tonelada (45 Mg) de HMA del lote.

Ejemplo 4-C: Para obtener una muestra de material de cada tonelada (megagrama) de HMA, el lote de 50 toneladas (45 Mg) se divide en 50 sublotes. Supongamos que el mismo técnico obtiene aleatoriamente una muestra de cada sublote de 1 tonelada (muestra estadística de n = 50) y determina el contenido de ligante asfáltico PG de cada muestra. El resultado de la prueba para cada una de las cincuenta muestras de material se representa a continuación.

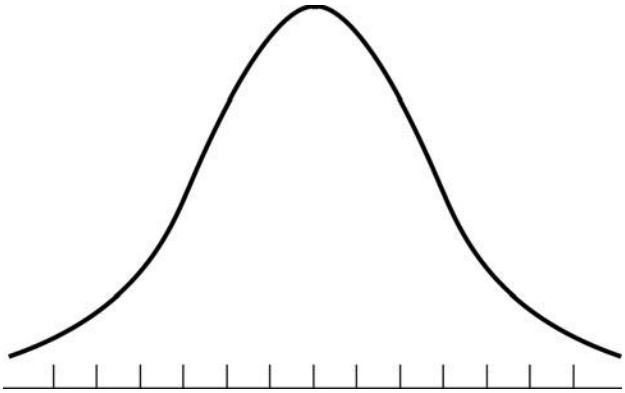


(Ejemplo 4-C: contenido del PGAB para una muestra estadística de n = 50)

Distribución normal

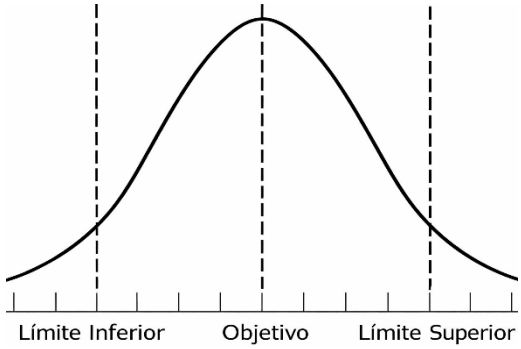
Lo que vemos en el ejemplo 4-C es una imagen fiel de la variabilidad general del contenido de aglutinante PG del lote de 50 toneladas (45 Mg) de HMA. Observamos que la mayoría de los resultados de las pruebas de las muestras se centran o agrupan en el límite inferior (4,6 %) y el límite superior (5,4 %), o entre ambos.

Encontramos menos resultados de pruebas de muestras justo por encima y por debajo de los límites de especificación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que varios de los resultados de las pruebas de muestras se encuentran fuera de los límites de especificación. Este patrón es lo que se conoce como ***distribución normal***. Los resultados del muestreo para cualquier distribución normal forman lo que se conoce como ***curva de distribución normal*** o **«curva en forma de campana**». Si tomáramos muestras y analizáramos un lote completo de la mayoría de los materiales de construcción mediante un recuento completo, los resultados de las pruebas formarían una curva de distribución normal similar a la obtenida en el ejemplo 4-C.



4.8 - Objetivos y límites de ensayo basados en la distribución normal

El principio de distribución normal y la curva en forma de campana son herramientas importantes que se utilizan para medir la calidad de una gran cantidad de material. Como se ha comentado en el capítulo 1, la calidad se define como «la conformidad con los requisitos». Las especificaciones de construcción de transporte suelen identificar objetivos y/o límites para las características de calidad individuales. Lamentablemente, muchas agencias no aplicaron correctamente el principio de distribución normal al desarrollar y aplicar los límites de especificación para la aceptación de materiales de construcción.



Los objetivos se establecen normalmente en función de un valor de ingeniería deseado relacionado con el rendimiento del material (por ejemplo, un 4 % de huecos de aire en el HMA). Los límites de especificación deben diseñarse de manera que un contratista o productor de materiales concienzudo, que aplique buenos procedimientos de control de calidad en la fabricación del producto, corra un riesgo mínimo de que se rechace un material aceptable. El diseño de estos límites debe tener en cuenta la seguridad, el rendimiento y la durabilidad del producto, que se combinan para minimizar los costes del ciclo de vida.

Las prácticas pasadas y algunas actuales se basan en gran medida en el criterio técnico a la hora de establecer la calidad deseada y los límites de especificación correspondientes para una característica de calidad concreta. Estas «especificaciones que asumen la variabilidad» se utilizan luego para controlar el proceso de producción y colocación, así como para tomar decisiones de aceptación. Este tipo de especificación conlleva un mayor riesgo de que se rechace material satisfactorio. Esto se debe a que no se ha tenido debidamente en cuenta la variabilidad inherente total de la característica de calidad específica del material que se está considerando. Los límites de especificación deben reflejar con mayor precisión la variabilidad inherente conocida del material que se produce y coloca.

Con demasiada frecuencia, la «conformidad con los requisitos» se ha determinado mediante la práctica de evaluar los resultados de las pruebas de una muestra de material individual en relación con los objetivos y límites especificados. Esta práctica es esencialmente un enfoque de «dentro/fuera» o «aprobado/suspenso» para evaluar periódicamente la calidad de la construcción basándose en un pequeño dato.

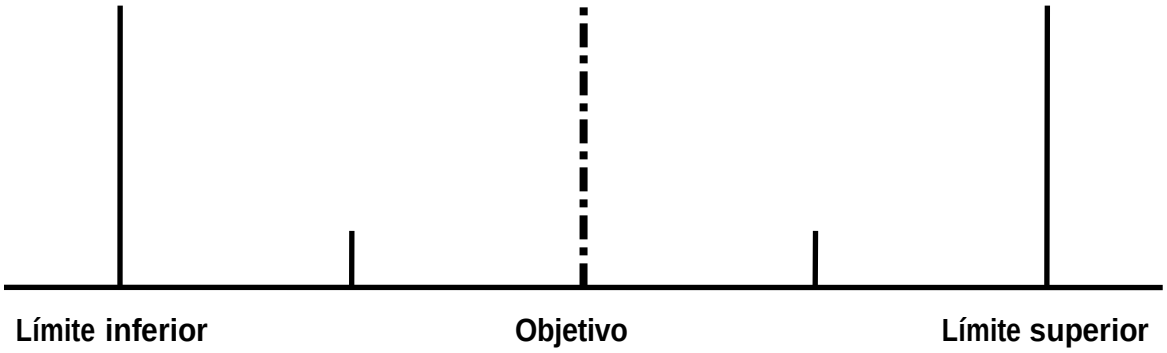
Sin embargo, como se ilustra en los ejemplos 4-A, 4-B y 4-C anteriores, el enfoque de evaluar la calidad de una gran cantidad de material con un solo resultado de prueba no es válido. Existe una variabilidad inherente y una distribución correspondiente de los resultados de las pruebas para cualquier lote de material de construcción. Una muestra individual no puede decirnos qué porcentaje de material se centra en torno al objetivo especificado ni cuánta variabilidad general existe dentro del lote de material.

Es posible que cada resultado individual de la prueba de muestras de material para un lote determinado se encuentre dentro de los límites de especificación (Ejemplo 4-B - Muestra estadística n.º 1), pero, basándonos en la distribución normal, sabemos que una cierta cantidad de material del lote se encuentra fuera de los límites de especificación.

También es posible que el resultado de la prueba de una muestra de material individual se encuentre fuera de los límites especificados (Ejemplo 4-B - Muestra estadística n.º 2) y se concluya erróneamente que el material representado por esta única muestra no es aceptable. Una vez más, basándonos en la distribución normal, sabemos que un pequeño porcentaje del material de cualquier lote suele estar fuera de los límites especificados (a menos que los límites se hayan establecido de forma extremadamente amplia).

Ahora debería quedar claro por qué el enfoque tradicional de aceptación/rechazo, que consiste simplemente en determinar si el resultado de una prueba de muestra individual se encuentra dentro de los límites superior e inferior especificados, no proporciona una medida adecuada de la composición y la calidad de un lote determinado. Para determinar adecuadamente la calidad y, por lo tanto, la aceptabilidad de un lote de material, debemos evaluar la variabilidad del lote utilizando una muestra estadística compuesta por múltiples muestras aleatorias de material.

Los objetivos y los límites de especificación deben establecerse reconociendo su relación con la distribución normal y la calidad del material. Esto puede hacerse utilizando datos históricos de pruebas de contratistas y agencias, siempre que los datos no estén sesgados (es decir, deben obtenerse mediante muestreo aleatorio y no mediante técnicas de muestreo sesgadas). En muchos casos, el alcance real de la variación del material tal y como existe en el mundo real no siempre está disponible a partir de datos anteriores debido a la práctica del muestreo representativo, el muestreo con n = 1, el descarte de algunas de las mediciones de las pruebas por alguna razón arbitraria o el muestreo sobre una base sesgada. Los datos de registros anteriores tienden a reflejar solo los valores medios y no una medida real de la variabilidad inherente de los materiales.

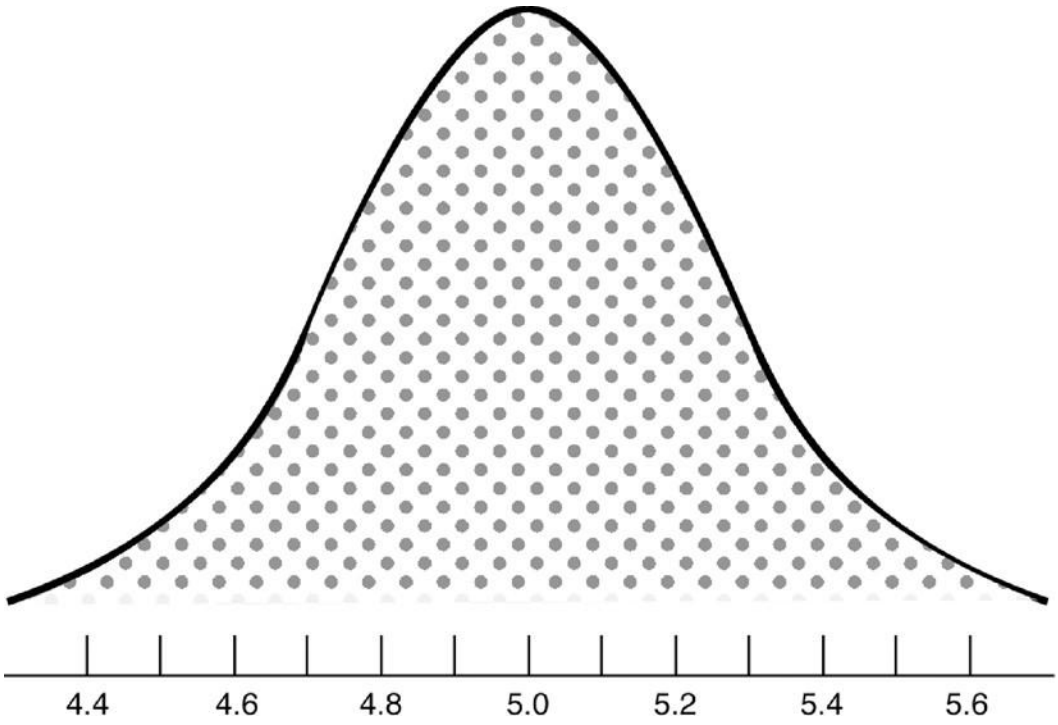


También se pueden utilizar proyectos piloto o estudios de investigación especiales para obtener datos de ensayo adecuados que permitan establecer objetivos y límites que reflejen la variabilidad inherente de un material concreto. Los objetivos y límites utilizados para el control de calidad y la aceptación se presentarán con más detalle en los capítulos 9 y 10.

El ejemplo siguiente ilustra cómo se podría llevar a cabo un estudio de investigación especial para determinar la variabilidad inherente de la misma mezcla de HMA utilizada en los ejemplos 4-A, 4-B y 4-C anteriores.

Ejemplo 4-D: Un estudio de investigación especial utiliza cinco plantas de HMA diferentes para producir 2500 toneladas (2250 Mg) de HMA con el fin de estimar la variabilidad inherente de la población de HMA. Cada planta de HMA produce 500 toneladas (450 Mg) de HMA utilizando los mismos áridos y ligante asfáltico PG con equipos y métodos de producción similares.

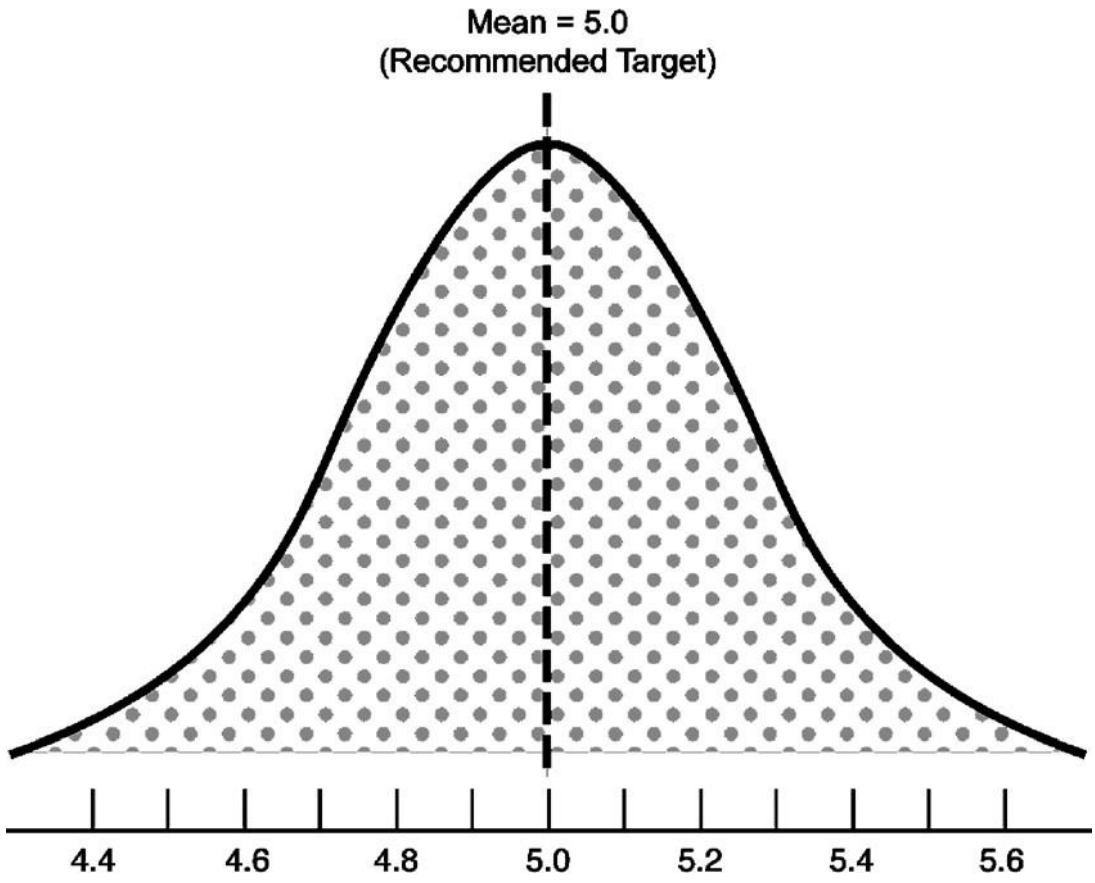
Se utilizan varios técnicos para obtener una muestra de cada tonelada (megagrama) de las 2500 toneladas (2250 Mg) de HMA (muestra estadística de n = 2500). Los técnicos determinan el contenido de ligante asfáltico PG de cada muestra. A continuación se representa la curva de distribución normal de la muestra estadística (n = 2500 muestras de material).



(Ejemplo 4-D: curva de distribución normal para una muestra estadística de n = 2500)

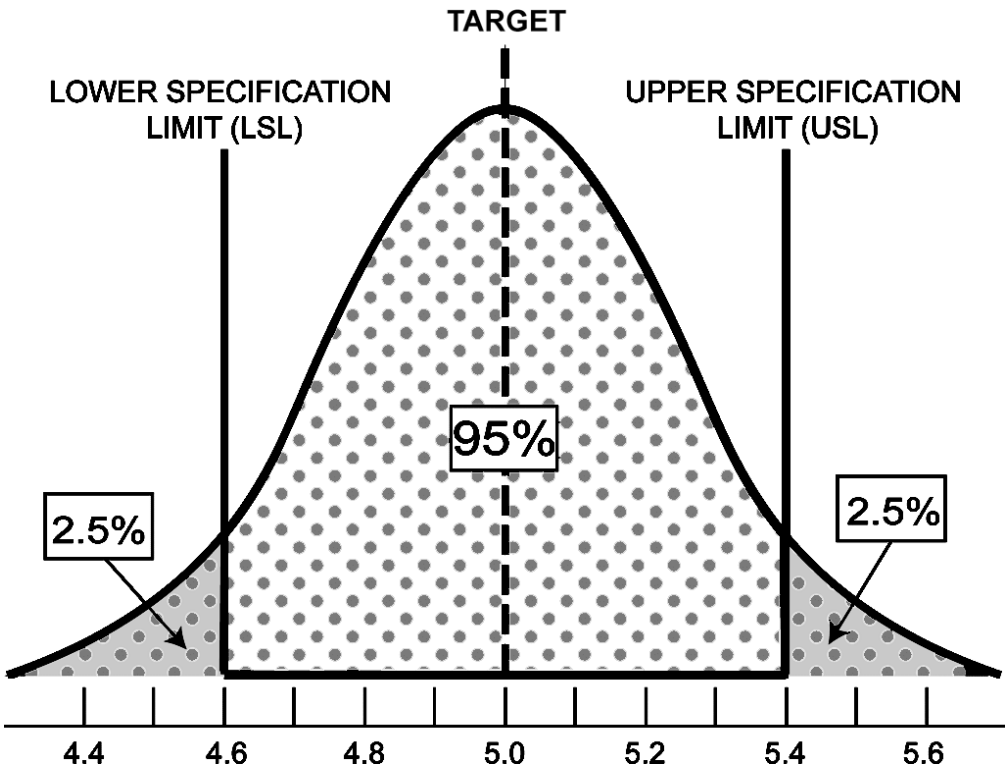
La distribución normal obtenida en el ejemplo 4-D anterior puede utilizarse para establecer límites objetivo y de especificación realistas para el contenido de ligante asfáltico PG para este tipo de mezcla HMA que reflejen la variabilidad inherente (variabilidad de muestreo + variabilidad de ensayo + variabilidad del material + variabilidad de la construcción).

El valor *medio* o promedio de las 2500 muestras de material individuales se determina en un 5,0 %. Obsérvese que este valor coincide exactamente con el centro o punto medio de la curva de distribución normal en forma de campana. Este valor podría seleccionarse como objetivo de especificación, siempre que se encuentre dentro del rango de valores de ingeniería deseados relacionados con el rendimiento del material.



(Objetivo de especificación basado en el ejemplo 4-D de distribución normal)

Los valores de prueba de la muestra varían del valor medio de prueba en un máximo de +/- 0,7 % (entre el 4,3 % y el 5,7 %). Sin embargo, la mayoría de los valores de prueba se agrupan estrechamente bajo la curva de distribución normal alrededor de la media, entre el 4,6 % y el 5,4 %. Como se describe brevemente en la sección 4.3, *los límites de especificación* son los límites de calidad basados en estadísticas que se utilizan para evaluar la calidad de un lote. Los límites de especificación se establecen normalmente de manera que aproximadamente el 95 % del material contenido en una población distribuida normalmente se encuentre dentro de esos límites. Esto significa que se espera que aproximadamente el 5 % del material de una población se encuentre dentro de las dos «colas» de la curva de distribución normal o fuera de los límites de especificación. Por consiguiente, parecería que se debería seleccionar el 4,6 % como límite de especificación inferior (LSL) y el 5,4 % como límite de especificación superior (USL).



(Límites de especificación basados en el ejemplo 4-D de distribución normal)

En este caso, parece que el estudio de investigación especial ha confirmado que el objetivo (5,0 %) y los límites de especificación (4,6 %, 5,4 %) utilizados en los ejemplos 4-A, 4-B y 4-C son realistas y alcanzables.

4.9 - Validez de los datos de muestreo

Los principios asociados con la distribución normal pueden aplicarse a una muestra estadística (es decir, un grupo de muestras de material) para determinar la calidad de un lote de material. Sin embargo, esto se basa en los siguientes supuestos clave:

1) Se utilizan ***múltiples*** muestras (n ≥ 3) para evaluar la calidad del lote.

2) Todas las muestras utilizadas para evaluar la calidad del lote se obtienen ***de forma aleatoria***.

3) Las muestras se obtienen del mismo lote en condiciones ***controladas.***

Cada uno de estos supuestos clave relacionados con la validez de los datos de muestreo se basa en el material se distribuye normalmente. Estas hipótesis clave se analizan a continuación.

Validez de los datos de muestreo: supuesto n.º 1: muestreo múltiple

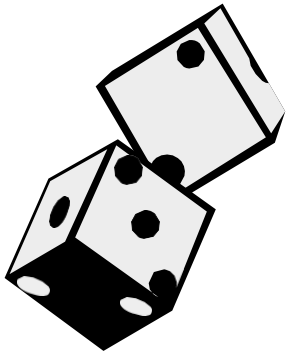
Una o incluso dos muestras aleatorias de material no proporcionan una imagen válida de la variabilidad asociada de una característica de calidad del material para un lote determinado. Cuando la aceptación de un lote se basa únicamente en una sola muestra (muestra estadística de n = 1), el riesgo de que la agencia acepte material fuera de especificación es extremadamente alto. Del mismo modo, el contratista corre el riesgo de que

que se rechace material conforme a las especificaciones basándose en información tan limitada.

Tal y como se presenta en los ejemplos de la sección 4.7, ahora debería quedar claro que las muestras de material que representan un lote se distribuirán normalmente debido a la variabilidad inherente. Por lo tanto, una muestra individual podría situarse en cualquier punto de la curva de distribución normal (es decir, cerca de la media, justo dentro de los límites superior o inferior, o en la cola más allá de los límites superior o inferior). Una muestra de material no proporciona información sobre la variabilidad ni indica dónde se encuentra la media real.

La única forma de reducir el riesgo tanto de la agencia como del contratista es cuantificar la variabilidad o la distribución normal del lote. Por consiguiente, para determinar adecuadamente la distribución normal y, por lo tanto, la calidad de un lote de material, debemos utilizar una muestra estadística compuesta por ***múltiples muestras de material***. La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad requieren un mínimo de tres (3) muestras para estimar la calidad de un lote. Sin embargo, a medida que se aumenta el tamaño de la muestra estadística, por ejemplo, de siete (7) a treinta (30) muestras, obtendremos una mejor estimación de la variabilidad o distribución normal del lote y reduciremos aún más el riesgo de la agencia y el riesgo del contratista.

Validez de los datos de muestreo - Supuesto n.º 2: muestreo aleatorio



Los principios asociados a la distribución normal no pueden aplicarse si las muestras se obtienen de un lote de forma sesgada. La forma de campana de la curva de distribución normal se basa en la probabilidad matemática. Para obtener una representación válida del lote, las muestras de material individuales deben seleccionarse de tal manera que cada muestra tiene la misma probabilidad de ser seleccionada del lote. Esto solo se puede lograr mediante el uso de ***muestreo aleatorio*.**

Por consiguiente, las muestras obtenidas mediante técnicas de muestreo sesgadas (muestreo representativo, muestreo por intervalos uniformes, muestreo por cuotas, muestreo selectivo) no pueden utilizarse para evaluar los datos de ensayo con el análisis del nivel de calidad.

Validez de los datos de muestreo - Supuesto n.º 3: condiciones controladas

Para poder realizar una evaluación válida de la calidad de un lote determinado, debemos asegurarnos de que todos los datos de las muestras que se evalúan para el lote representan materiales de construcción que se producen, colocan, muestrean, inspeccionan y prueban en las mismas ***condiciones controladas***. El término «condiciones controladas» se define de la siguiente manera:

> **Condiciones controladas**: consistencia o uniformidad en los métodos de producción, colocación, muestreo y ensayo de los materiales.

El material debe producirse a partir de la misma mezcla en la misma instalación utilizando un proceso uniforme. Debe colocarse utilizando equipos y métodos uniformes. El muestreo, la inspección y el ensayo de las muestras de material también deben realizarse siguiendo procedimientos estándar de manera coherente y uniforme.

Las desviaciones significativas de las condiciones controladas durante la producción, la colocación, el muestreo, la inspección o los ensayos introducirán una variabilidad que va más allá de la variabilidad típica (es decir, esperada o aceptada) Si se modifican las condiciones de producción y/o colocación del material, el material correspondiente debe asignarse a un nuevo lote.

Una cantidad de material que se identifique como una deficiencia significativa, visible y aparente dentro de un lote, y que se atribuya a la ausencia de condiciones controladas, debe aislarse del lote. Como se explica en la sección 4.10 más adelante, deben obtenerse muestras adicionales del lugar en cuestión y el material debe evaluarse por separado del lote.

4.10 - Protocolos de muestreo para abordar situaciones específicas

Las agencias suelen determinar el punto de obtención de muestras de cada sublote basándose en la seguridad, la facilidad, la economía, la mínima perturbación de la producción o la operación de colocación y la calidad de la operación de muestreo. Por ejemplo, para el HMA, la norma AASHTO T 168 (ASTM D 979) permite a las agencias tomar muestras de materiales para determinar las características de calidad.
ya sea en la planta de producción, antes de la pavimentadora, después de la pavimentadora, antes de la compactación o después de la compactación. Sin embargo, las especificaciones de control de calidad deben identificar claramente solo uno de estos puntos de muestreo (por ejemplo, en la planta de producción, después de la pavimentadora) para obtener muestras de material tanto para las pruebas de control de calidad del contratista como para las pruebas de aceptación de la agencia. Esto es importante porque los límites de las especificaciones se establecen en función del muestreo de ese punto específico, y cambiar la ubicación del muestreo puede invalidar los resultados del análisis de los datos de las pruebas. La obtención de muestras de una ubicación diferente al punto de muestreo especificado también puede aumentar la variabilidad del muestreo.

Al tomar muestras de cualquier material, es importante que los incrementos individuales de una muestra se obtengan lo más cerca posible de la ubicación predeterminada de la muestra aleatoria. A menos que se especifique lo contrario en un método de prueba de la AASHTO o la ASTM, se acepta como práctica habitual localizar y obtener múltiples incrementos para una muestra en un radio de 2 pies (0,6 metros) desde la ubicación exacta de la muestra aleatoria.

Además de identificar los lugares de muestreo, las especificaciones de la agencia también suelen especificar la frecuencia de muestreo para el control de calidad y la aceptación. Sin embargo, pueden darse circunstancias que no estén específicamente contempladas en las especificaciones de la agencia o en

los métodos AASHTO o ASTM. Para garantizar que no se produzcan prácticas de muestreo sesgadas, se deben desarrollar protocolos estándar y seguirlos de manera uniforme para tales situaciones de muestreo, incluyendo lo siguiente:

- Tamaños de lote/sublote que dan lugar a menos de tres muestras.
- Muestreo de sublotes parciales.
- Ubicaciones de muestreo en los bordes del campo de colocación.
- Muestreo en lugares con deficiencias visibles.

A continuación se describen los protocolos de muestreo recomendados para abordar cada una de las situaciones específicas de muestreo mencionadas anteriormente.

Tamaños de lote/sublote que dan lugar a menos de tres muestras

Como se ha comentado anteriormente, se requiere un mínimo de tres muestras para realizar un análisis del nivel de calidad. Cuando la cantidad total de cualquier material de construcción es pequeña, el tamaño del lote o sublote definido por la agencia en la Especificación de garantía de calidad puede dar lugar a menos de tres muestras de material. Si se sabe de antemano que la cantidad total de Si el material que se va a proporcionar es escaso, lo mejor es establecer un plan de muestreo que proporcione al menos el número requerido de muestras (o más, si es posible). En consecuencia, las especificaciones de control de calidad deben indicar el protocolo específico que se debe seguir en tales situaciones. Por ejemplo, un enfoque consiste en reducir el tamaño de los sublotes para garantizar un mínimo de 3 a 4 sublotes de igual tamaño que representen al lote. Esto se puede lograr dividiendo la cantidad total del lote por el número mínimo deseado de sublotes y determinando aleatoriamente las ubicaciones de las muestras dentro de cada sublote. En algunos casos, las frecuencias de muestreo más rigurosas requerirán técnicos e inspectores adicionales y

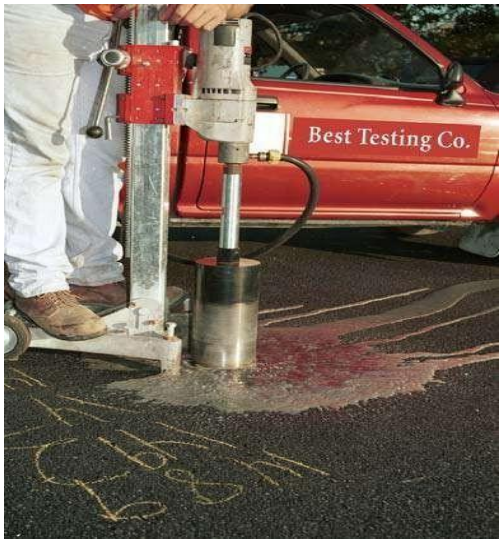
en la mayoría de los casos requerirán una planificación previa para poder muestrear adecuadamente el material con una frecuencia mayor.

Algunas agencias también especifican cantidades por debajo de las cuales no se aplican los procedimientos de análisis del nivel de calidad. En el caso de pequeñas cantidades en las que no se exige específicamente el QLA, la agencia puede evaluar el material mediante un «procedimiento de aceptación para lotes pequeños». En virtud de dichos procedimientos, el contratista debe seguir realizando una frecuencia mínima de inspección y pruebas de control de calidad. La agencia también debe realizar algunas inspecciones y pruebas de aceptación para determinar la calidad del producto o material.

Muestreo de sublotes parciales

Cuando los lotes están a punto de concluir o cuando se suspende la producción, los sublotes pueden «cortarse» antes de obtener la muestra requerida para ese sublote. Una vez más, las especificaciones de control de calidad deben indicar el protocolo específico que se debe seguir en tales situaciones. Por ejemplo, cuando el lote se define como una gran cantidad (por ejemplo, 10 000 toneladas de HMA), el lote abarca varios días de producción y los sublotes parciales pueden «recogerse» al comienzo del siguiente día de producción. Las muestras de material que aún no se hayan obtenido durante la producción de un sublote parcial en un día se obtendrán al comienzo de la producción del día siguiente. Sin embargo, cuando el lote se define como una cantidad menor (por ejemplo, la cantidad total producida durante un día), habrá muchos casos de sublotes parciales. En algunos casos, estos sublotes estarán representados por muestras (cuando la ubicación de la muestra aleatoria se produjo antes del final de la producción) y en otros casos no. Ambas situaciones son indeseables. Una muestra obtenida de un sublote parcial representa una cantidad de producción menor que las demás muestras; sin embargo, cuando no se obtiene una muestra, el sublote no se somete a prueba. El tamaño de los sublotes debe ser igual si es posible, pero si el último sublote es más pequeño que el resto, se sigue proporcionando una medida justa de la calidad del lote.

Por ejemplo, una instalación de HMA tenía un pedido de 1500 toneladas (1360 Mg) para enviar a un proyecto de una agencia. La agencia definió un lote como la producción de un día y un sublote como una cantidad que no excediera las 500 toneladas (450 Mg). El personal de control de calidad del contratista utilizó un muestreo aleatorio estratificado y obtuvo muestras de material para los dos primeros sublotes de 500 toneladas (450 Mg). La última muestra se determinó aleatoriamente en 480 toneladas (435 Mg) en el último sublote. La producción se detuvo a las 450 toneladas (408 Mg) debido a problemas con el equipo en el campo y se dio por terminado el día de producción. Como resultado, solo se obtuvieron dos muestras para representar el lote. En esta situación, lo más adecuado sería obtener una muestra que representara el sublote parcial antes de que finalizara la producción, ya que con menos de tres (3) muestras no permite realizar el análisis del nivel de calidad. Otra alternativa es combinar los dos sublotes que se analizaron con un lote posterior de producción del mismo material. La Administración Federal de Aviación (FAA) utiliza este método en su especificación P 401 HMA. Según la P 401, el lote contendrá entre tres y seis muestras.



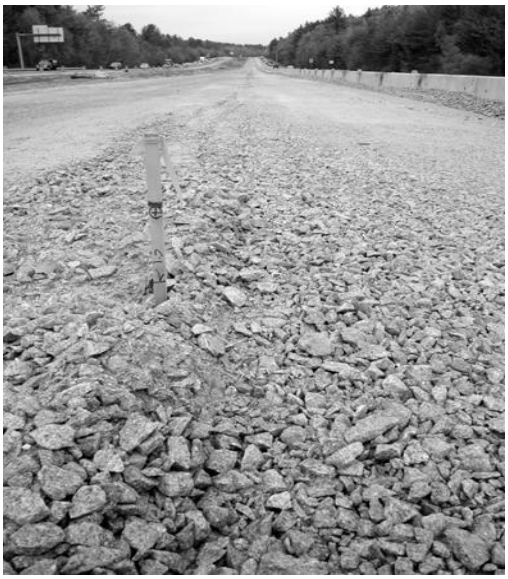
Otra posibilidad es que la agencia establezca límites para sublotes parciales o lotes suspendidos (normalmente la mitad del tamaño del sublote habitual), más allá de los cuales se deben obtener muestras adicionales. Si se sabe que un sublote se reducirá por debajo de la cantidad prevista inicialmente, se deberá utilizar el número aleatorio seleccionado previamente para determinar la ubicación de la muestra, junto con la cantidad ajustada, para determinar la ubicación de la muestra. Si el sublote se reduce sin previo aviso, se podrá utilizar el número aleatorio seleccionado previamente para ese sublote, junto con el tamaño reducido del sublote, para determinar una nueva ubicación aleatoria.

Ubicaciones de las muestras en el borde del campo de colocación

Al determinar las ubicaciones de las muestras utilizando la longitud y la anchura de la zona colocada, puede haber casos en los que la muestra se encuentre cerca del borde de la colocación (que puede ser un borde longitudinal o transversal) o cerca de una estructura (por ejemplo, una boca de inspección). Las agencias suelen definir en sus especificaciones que las muestras situadas cerca de un borde se «retrasen» una distancia prescrita, por ejemplo, 1 pie (0,3 m). Esto se puede lograrse prescribiendo una zona «sin muestras» alrededor de los bordes del área de colocación y corrigiendo posteriormente cualquier ubicación de muestra de material seleccionada al azar para que quede fuera de esta zona.

Muestreo en lugares con deficiencias visibles

Una cantidad de material que se identifique como una deficiencia significativa, visible y aparente dentro de un lote debe aislarse y rechazarse o evaluarse más a fondo mediante un muestreo selectivo y un muestreo aleatorio adicional dentro del sublote afectado. La agencia debe definir claramente qué constituye una deficiencia significativa, visible y aparente. Se puede utilizar el muestreo selectivo para determinar los límites de la deficiencia o para cuantificar directamente las áreas afectadas. Se obtienen muestras aleatorias adicionales para cuantificar adecuadamente la calidad real del material en cuestión y respaldar una disposición adecuada del mismo.



4.11 - Nuevo muestreo y nuevas pruebas

Nuevo muestreo frente a nuevas pruebas

El término ***«re-muestreo»*** se refiere al proceso por el cual la agencia o el contratista determina que se requiere una nueva muestra de material para sustituir la muestra original de un sublote individual.

El término ***«nueva prueba»*** se refiere al proceso de realizar otra prueba para confirmar la prueba inicial. La nueva prueba debe realizarse utilizando una segunda porción de prueba o muestra preparada a partir de la misma muestra original.

Estos dos términos se utilizan a menudo de forma incorrecta de manera intercambiable o se confunden con el término «muestreo selectivo». Las prácticas de remuestreo y repetición de pruebas también son aplicadas a veces de forma incorrecta por el personal de las agencias y los contratistas. A continuación se explican las aplicaciones correctas e incorrectas de estas prácticas.

Aplicación adecuada del nuevo muestreo y la nueva prueba

El nuevo muestreo está justificado si se determina que:

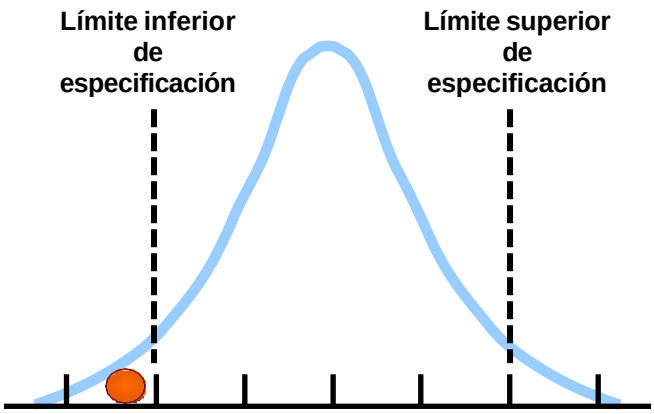
- La muestra no se obtuvo de la misma población en condiciones controladas (se obtuvo de material visiblemente defectuoso/rechazable).
- La muestra no se obtuvo de forma aleatoria.
- La muestra no se obtuvo correctamente de acuerdo con el procedimiento de muestreo requerido por AASHTO/ASTM.

Se justifica volver a realizar la prueba si se determina que:

- La prueba no se realizó correctamente de acuerdo con el procedimiento de prueba requerido por AASHTO/ASTM.
- El equipo de ensayo no estaba debidamente calibrado o no funcionaba correctamente.

Aplicaciones inadecuadas del nuevo muestreo y la nueva prueba

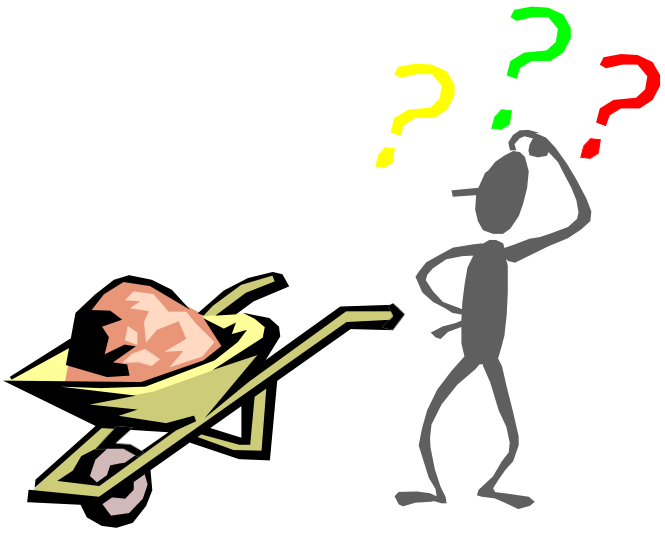
Uno de los casos más frecuentes en los que se aplica incorrectamente el nuevo muestreo es cuando se descubre que el resultado de la prueba de una muestra de material individual está fuera de los límites de la especificación (o de los límites de ingeniería). El contratista o la agencia decide entonces obtener una nueva muestra (a menudo denominada muestreo de investigación, confirmación o arbitraje).



A menos que se determine que la muestra no se obtuvo de forma aleatoria, en condiciones controladas o de acuerdo con los procedimientos de muestreo adecuados, no se justifica un nuevo muestreo. Como se ha explicado anteriormente, se espera que las muestras de material que representan un lote se distribuyan normalmente debido a la variabilidad inherente. Según la probabilidad, una muestra individual de un lote podría situarse en cualquier punto dentro del curva de distribución normal, incluidas las colas. El resultado de esta prueba podría situarse fuera de los límites de especificación. Por este motivo, las decisiones de aceptación deben basarse en múltiples muestras aleatorias de material, en lugar de emitir un juicio sobre una muestra individual.

Si la agencia o el contratista están preocupados por el resultado de la prueba de una muestra individual, se puede volver a realizar la prueba con una parte de la misma muestra para confirmar el resultado inicial. Se pueden obtener y analizar muestras aleatorias adicionales de material (no nuevas muestras) para complementar (¡no sustituir!) la muestra original. Esto proporcionará una mejor estimación de la variabilidad del lote o de la distribución normal y, por lo tanto, de la verdadera calidad del lote.

El nuevo muestreo tampoco debe utilizarse para evaluar materiales cuestionables o que se sabe que no cumplen las especificaciones. Como se ha definido anteriormente, este no es el objetivo del nuevo muestreo.



Una cantidad de material que se identifique como una deficiencia significativa, visible y aparente
dentro de un lote debe aislarse y rechazarse o evaluarse más a fondo mediante un muestreo selectivo y un muestreo aleatorio adicional dentro del sublote afectado. Tenga en cuenta que las muestras aleatorias adicionales se obtienen para cuantificar adecuadamente la calidad real del material en cuestión y para respaldar una disposición adecuada del mismo.

- FIN DEL CAPÍTULO 4 -

CAPÍTULO 5

Funciones y responsabilidades del control de calidad del contratista

Capítulo 5

Funciones y responsabilidades del contratista en materia de control de calidad

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan las siguientes responsabilidades y actividades necesarias para un control de calidad eficaz:

5.1 - Descripción general de la función de control de calidad del contratista y responsabilidades e es

5.2 - Requisitos de organización de control de calidad

5.3 - Documentos operativos de control de calidad

5.4 - Requisitos del plan de control de calidad

5.5 - Inspección visual para el control de calidad

5.6 - Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad

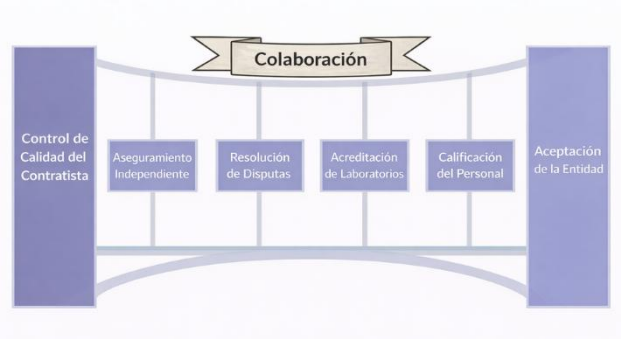
5.7 - Actividades de control de calidad en las instalaciones de producción

5.8 - Actividades de control de calidad en el campo de la gestión

5.9 - Registros de control de calidad de la producción

5.1 - Descripción general de las funciones y responsabilidades del control de calidad del

Responsabilidad del control de calidad



Como se ha comentado en el capítulo 2, el control de calidad es uno de los dos pilares fundamentales de los seis elementos básicos de un programa de garantía de calidad. La garantía de calidad otorga la responsabilidad del control de calidad al ***contratista***. El término «contratista» se refiere a todas las partes contratadas que participan participan en la construcción de un proyecto individual, incluyendo: el ***contratista principal (general)***; ***los subcontratistas***; y todos ***los productores***, ***fabricantes*** y ***fabricantes*** que suministran materiales de construcción para el proyecto. Por consiguiente, el término «contratista» se utiliza a lo largo de este documento para referirse, ya sea de forma colectiva o individual, a cualquiera de estas partes.

Cada una de estas partes contratistas se define de la siguiente manera:

> **Contratista principal (general)**: «La empresa que tiene el contrato de construcción principal para un proyecto de una agencia y que asume la responsabilidad general de completar el trabajo».
>
> **Subcontratista**: «Empresa responsable de la colocación o instalación in situ de un elemento concreto de la obra en virtud de un contrato con el contratista principal».
>
> **Productor**: «Empresa que produce y suministra materiales para proyectos (por ejemplo, áridos, HMA, PCC) al contratista principal o a un subcontratista».

Fabricante: «Empresa que produce materiales estructurales fabricados (por ejemplo, elementos estructurales de hormigón prefabricado/pretensado, acero estructural fabricado) para el contratista principal o un subcontratista».

Fabricante: «Empresa que fabrica y suministra materiales fabricados estándar para el contratista principal, un subcontratista o un fabricante».

El control de calidad no es solo responsabilidad del contratista principal. Cada una de las cinco partes contratistas definidas anteriormente tiene un papel importante en la realización de un control de calidad eficaz. Cada contratista individual debe contar con su propio sistema de control de calidad para garantizar que su producto o trabajo terminado cumpla con los requisitos de calidad establecidos por la agencia contratante. El Sin embargo, el contratista principal tiene la responsabilidad general de gestionar el control de calidad y debe coordinar los esfuerzos de todas las demás partes contratistas. El contratista principal debe tomar la iniciativa para garantizar la idoneidad del sistema de control de calidad de cada contratista de nivel inferior y debe asegurarse de que cada nivel inferior cuente con un control de calidad eficaz que permita alcanzar el nivel de calidad especificado.

Función de control de calidad

Todos los pasos y actividades que intervienen en la fabricación, producción o colocación de un producto constituyen un ***proceso***. La función del control de calidad es garantizar que cada proceso proporcione de forma constante un producto determinado que cumpla con los requisitos de las especificaciones. Se dice que un proceso que es capaz de lograr esto está ***bajo control***.

Por lo tanto, el control de calidad busca mantener todos los procesos bajo control. Por eso, el término ***«control de procesos»*** se utiliza a veces como sinónimo de «control de calidad».

El control de calidad no debe considerarse una actividad o función independiente dentro de la organización de un contratista, sino que debe integrarse en toda la organización. En otras palabras, el control de calidad no es simplemente responsabilidad del personal encargado de ello. No se trata de confiar en el personal de inspección y pruebas de control de calidad para garantizar la calidad. Si bien es cierto que el control de calidad requiere el muestreo, las pruebas y la inspección por parte de personal cualificado, la calidad solo puede lograrse mediante trabajadores de primera línea cualificados y debidamente formados para producir y colocar materiales que cumplan los requisitos de las especificaciones. Este es un punto importante que deben comprender todos los empleados de un contratista.

Un control de calidad eficaz utiliza un enfoque integral, sistemático y continuo para producir y colocar un producto. El control de calidad debe realizarse en tiempo real. No es reactivo, sino proactivo. Las actividades de control de calidad deben centrarse en prevenir la aparición de problemas o defectos, no en detectarlos a posteriori. Esto requiere que todo el personal del contratista adopte una filosofía ***de cero defectos.*** . Esto no significa que nunca se produzcan defectos. Más bien, el concepto de cero defectos es una filosofía de gestión de la calidad total (TQM) definida por el autor Philip Crosby de la siguiente manera:

> **Cero defectos**: «Haz bien el trabajo a la primera».

Esto no debe considerarse simplemente como un eslogan que se imprime y se cuelga en los tablones de anuncios del lugar de trabajo. Se trata de una filosofía o actitud que todos los trabajadores deben adoptar y aplicar continuamente en cada actividad de un proceso específico de fabricación, producción o colocación. Para que esto resulte más tangible para los trabajadores, cada organización contratista debe establecer objetivos de calidad utilizando el concepto de «cero defectos» como meta, de forma similar a

los objetivos de seguridad del proyecto de cero accidentes con pérdida de tiempo. La actitud de «cero defectos» busca prevenir que se produzcan problemas o «falta de calidad» en primer lugar.

Las especificaciones de garantía de calidad de cada agencia de transporte identificarán las actividades mínimas de control de calidad exigidas al contratista. Sin embargo, un contratista verdaderamente consciente de la calidad no se limita a intentar cumplir los requisitos mínimos de las especificaciones de control de calidad. Los contratistas que adoptan plenamente los principios de garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte reconocen que el control de calidad es una una inversión empresarial sólida que reporta dividendos gracias a:

- Reducción de la posibilidad de tener que volver a hacer el trabajo.
- Aumento de la productividad.
- La capacidad de evitar retrasos relacionados con el calendario.

Por consiguiente, un buen sistema de control de calidad para contratistas no reacciona ni intenta adaptarse a los requisitos especificados por la agencia, sino que implementa procedimientos de control de calidad como práctica habitual.

Un sistema de control de calidad del contratista comienza con una organización adecuada del control de calidad y un plan de control de calidad bien redactado. Incluye muestreo, pruebas e inspección. El control de calidad debe abordar las actividades en las instalaciones de fabricación, producción y fabricación del contratista, así como en los lugares de colocación sobre el terreno. También requiere el mantenimiento de buenos registros. Cada una de estas funciones de control de calidad se analiza con más detalle a lo largo de este capítulo.

5.2 - Requisitos de organización del control de calidad

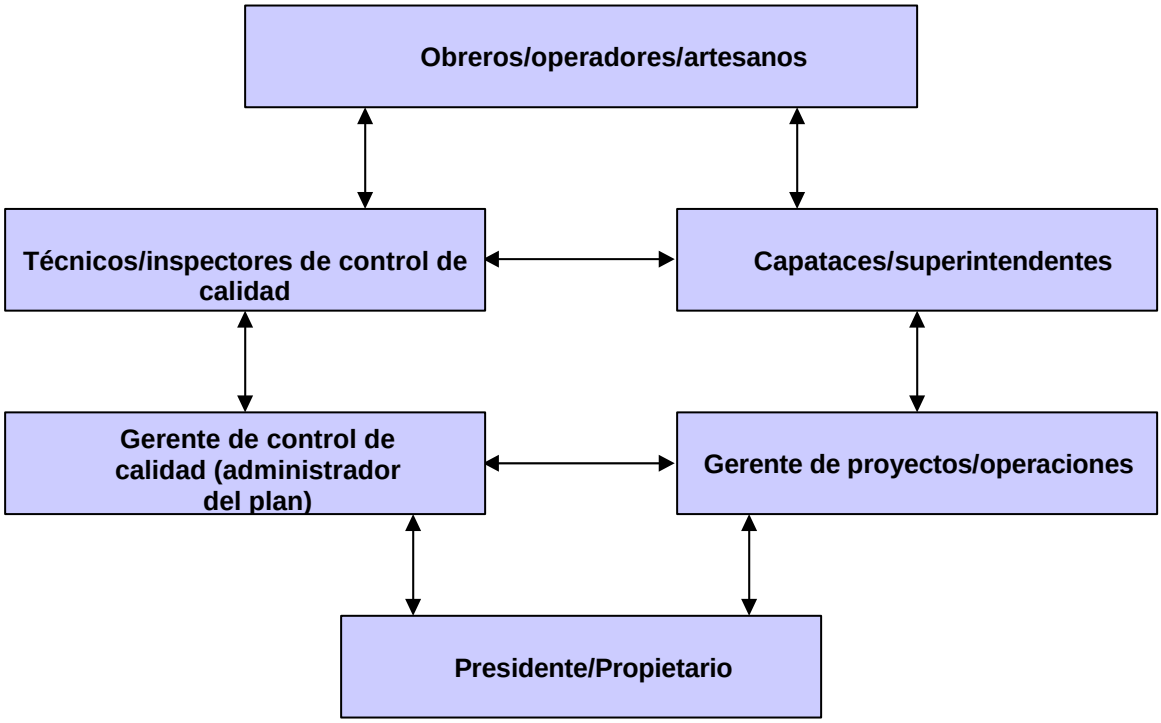
Estructura organizativa óptima del contratista

El control de calidad debe entenderse y aplicarse como una responsabilidad compartida por todos los miembros de la organización del contratista. El sistema de control de calidad de un contratista debe ser desarrollado y supervisado por un equipo central de control de calidad.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, la calidad no se consigue con la presencia o las actividades de unas pocas personas etiquetadas como ***personal de control de calidad*** (es decir, director de control de calidad, administrador del plan de control de calidad, técnicos de control de calidad, inspectores de control de calidad). El control de calidad comienza con el ***personal de producción*** de primera línea (es decir, trabajadores cualificados, operadores de equipos, artesanos) que realmente fabrican, mezclan, colocan o acaban los materiales de construcción.

Una estructura organizativa eficaz de control de calidad del contratista proporciona un equipo de personal de control de calidad que funciona, ni por encima ni por debajo, sino en paralelo al equipo de personal de producción. La función principal del personal de control de calidad es supervisar y medir continuamente cada proceso de producción o colocación para determinar si está bajo control. La información obtenida por el personal de control de calidad se comparte con el personal de producción para confirmar que el producto cumple con los requisitos de las especificaciones o para determinar las medidas correctivas necesarias cuando no es así. Esto requiere un trabajo en equipo entre el personal de control de calidad y el personal de producción. Este trabajo en equipo debe comenzar en la primera línea de las operaciones de producción y colocación y progresar hasta llegar a los altos directivos.

El gráfico siguiente ilustra la estructura organizativa óptima del contrato necesario para lograr un control de calidad eficaz. Esta estructura organizativa es aplicable a cada una de las cinco partes contratistas definidas anteriormente (es decir, contratista principal, subcontratistas, productores, fabricantes, fabricantes), independientemente del tamaño de la empresa.

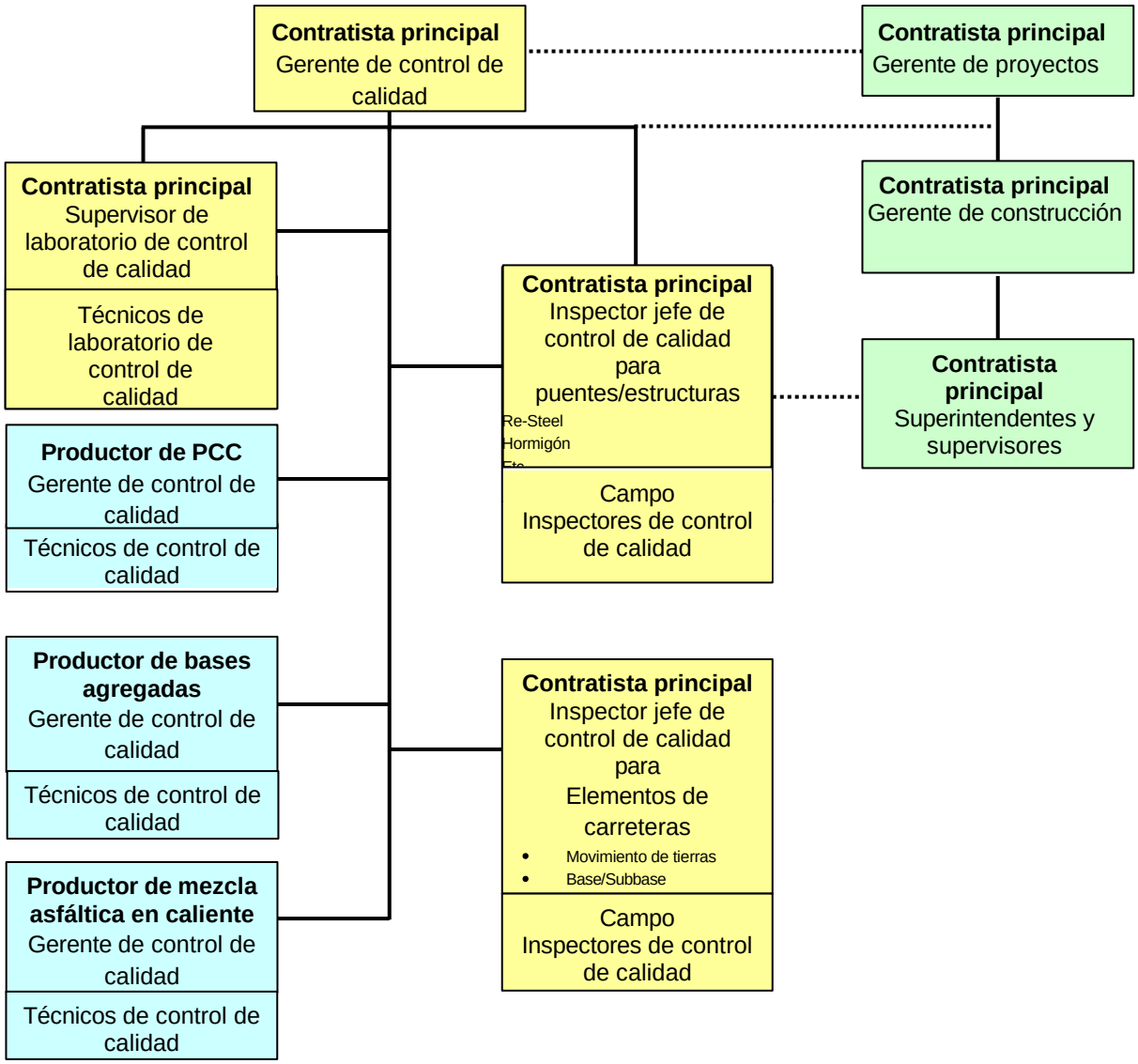


(Estructura organizativa óptima del contratista para un control de calidad eficaz)

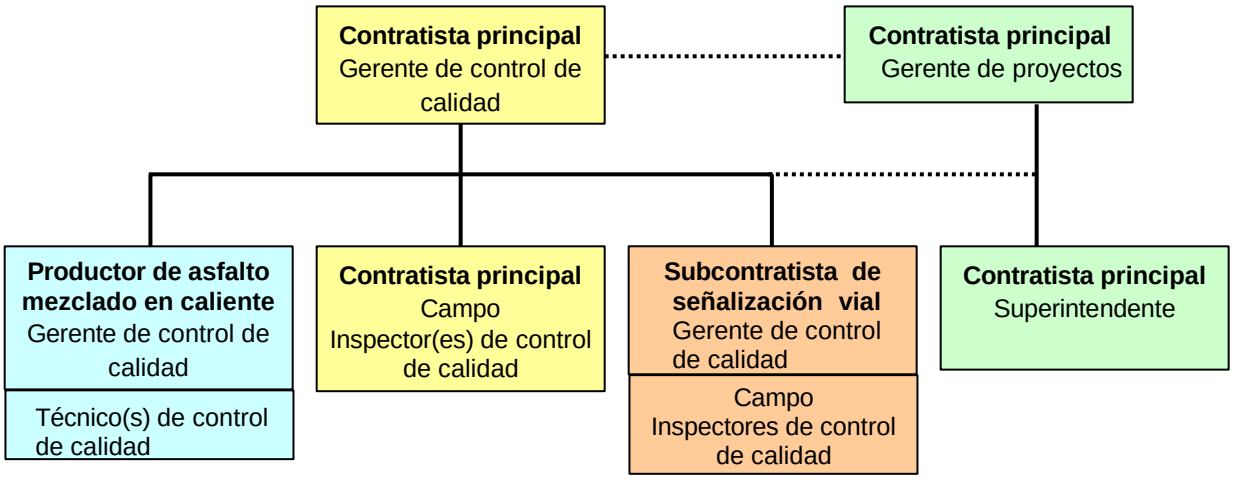
Organización del control de calidad de proyectos de transporte

No existe una estructura organizativa de control de calidad «única» que pueda aplicarse a todos los proyectos de construcción de transporte. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, cada parte contratista (es decir, el contratista principal, los subcontratistas, los productores, los fabricantes y los fabricantes) debe contar con un sistema y una estructura de control de calidad.

La organización de control de calidad del contratista variará en función del tamaño y la complejidad del proyecto de construcción y de las operaciones individuales que lo componen. A continuación se muestra un ejemplo de organización de control de calidad para un gran proyecto de construcción de autopistas y un ejemplo de organización de control de calidad para un proyecto de repavimentación con HMA.



(Organigrama de control de calidad para un gran proyecto de construcción de autopistas)



(Organigrama de control de calidad para el proyecto de repavimentación con HMA)

Independientemente del tamaño del proyecto, la organización general de control de calidad de un proyecto de construcción de transporte debe estar dirigida por el personal de control de calidad del contratista principal. Lamentablemente, algunos contratistas principales que no comprenden plenamente el control de calidad optan por recurrir a un consultor de control de calidad para implementar el control de calidad en un proyecto de construcción concreto. Si bien es posible que parte del personal de control de calidad de la organización del contratista principal sea personal consultor (por ejemplo, técnicos, inspectores), se recomienda encarecidamente que la persona encargada del control de calidad (es decir, el director de control de calidad o el administrador del plan de control de calidad) sea un empleado a tiempo completo del contratista principal. El motivo es mantener la atención necesaria en la calidad por parte de todo el personal de los contratistas y desarrollar el trabajo en equipo necesario entre el personal de control de calidad y el personal de producción dentro de cada contratista y entre ellos. Por lo general, no es posible lograrlo con un director de control de calidad temporal o externo.

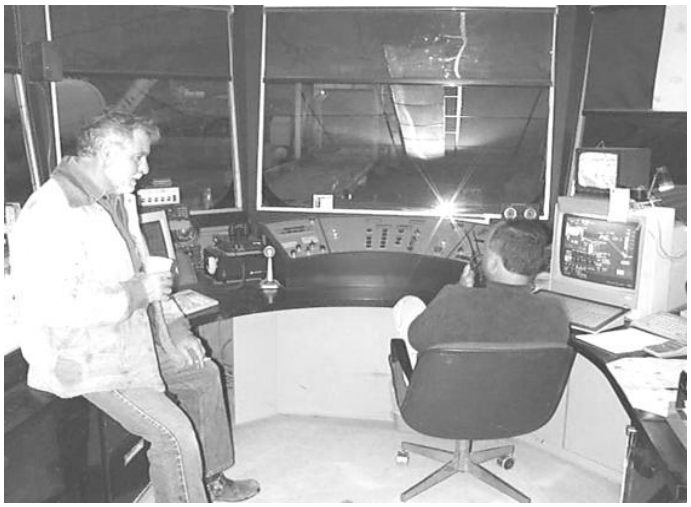
Requisitos del personal de control de calidad

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias identificarán el personal mínimo de control de calidad del contratista necesario para un proyecto. Dichos requisitos de especificación suelen incluir los siguientes tipos de personal de control de calidad:

- Gerente de control de calidad o administrador del plan de control de calidad
- Técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción
- Personal de laboratorio de control de calidad
- Técnicos/inspectores de control de calidad de campo

A continuación se describen las responsabilidades y las cualificaciones mínimas que se suelen exigir a este personal de control de calidad.

Gerente de control de calidad o administrador del plan de control de calidad



Cada parte contratista (es decir, contratista principal, subcontratistas, productores, fabricantes) que participe en un proyecto de construcción de transporte debe contar con un ***responsable de control de calidad***. El responsable de control de calidad tiene la responsabilidad y la autoridad principales para desarrollar e implementar los numerosos detalles del sistema o sistemas de control de calidad de la empresa.

Como se explica con más detalle (sección 5.3), el sistema de control de calidad para cada categoría principal de trabajo realizada por el contratista debe estar suficientemente documentado en uno o más planes de control de calidad. Por este motivo, el responsable de control de calidad también puede denominarse ***administrador del plan de control de calidad***. El responsable de control de calidad del contratista principal tiene la responsabilidad general de gestionar el control de calidad

de todos los elementos de trabajo de un proyecto de construcción y debe colaborar con el responsable de control de calidad de cada fabricante, fabricante, productor y subcontratista para garantizar que sus sistemas de control de calidad proporcionan productos que se ajustan a los objetivos y límites de calidad especificados.

Las principales funciones de cada responsable de control de calidad incluyen:

- Establecer el sistema de control de calidad del contratista.
- Preparar planes de control de calidad completos y funcionales.
- Gestionar las actividades de todo el personal de control de calidad (técnicos/inspectores).
- Comunicarse habitualmente con el personal de producción para garantizar la calidad.
- Iniciar la suspensión del trabajo y las medidas correctivas cuando se detecte que un proceso está fuera de control o produce materiales no conformes.
- Garantizar la documentación y los registros adecuados de control de calidad.

Un responsable de control de calidad debe estar debidamente cualificado para desempeñar las funciones mencionadas anteriormente. Se recomienda que cada responsable de control de calidad posea una combinación de formación y experiencia práctica en control de calidad. Los requisitos mínimos de formación deben incluir formación presencial formal y cualificación/certificación a través de un curso completo sobre garantía de calidad. El responsable de control de calidad también debe tener experiencia práctica relevante en la aplicación de los requisitos de un programa de garantía de calidad y especificaciones de garantía de calidad en proyectos de construcción de transporte. En **el apéndice E** se incluye una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias, incluida la cualificación/certificación de los responsables de control de calidad (administradores de planes de control de calidad).

Técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción

Cada fabricante, transformador y productor debe contar con un número suficiente de técnicos o inspectores cualificados en sus instalaciones de producción para realizar pruebas e inspecciones de control de calidad. El número de ***técnicos/inspectores de control de calidad*** en ***las instalaciones*** de producción que requiera el fabricante, transformador o productor dependerá del volumen medio de material producido. Los fabricantes o elaboradores que generan regularmente grandes cantidades de materiales fabricados o elaborados de forma continua pueden necesitar varios técnicos de control de calidad. Los productores, que suelen producir cantidades variables de materiales para proyectos (por ejemplo, áridos, HMA, PCC), pueden necesitar solo uno o dos técnicos de control de calidad para realizar las actividades de control de calidad. En los grandes proyectos de construcción, el contratista principal o el subcontratista al que un productor suministra materiales también puede proporcionar técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción para aumentar el personal de control de calidad del productor o para auditar periódicamente las operaciones del productor.

Las principales funciones de cada técnico/inspector de control de calidad de las instalaciones de producción incluyen:

- Realizar muestreos, pruebas e inspecciones de control de calidad en la planta de producción.
- Preparar y firmar formularios estándar de informes de pruebas/inspecciones de control de calidad.
- Proporcionar información periódica al personal de producción (capataces/superintendentes) y al director de control de calidad/administrador del plan de control de calidad basándose en las inspecciones y pruebas de control de calidad.

En la sección 5.7 se presenta un resumen más detallado de las actividades de control de calidad de las instalaciones de producción.

Cada técnico/inspector de control de calidad de las instalaciones de producción debe estar debidamente cualificado para desempeñar las funciones mencionadas anteriormente. Los requisitos formales de cualificación/certificación para los técnicos/inspectores de control de calidad suelen ser especificados por la agencia contratante para los distintos materiales producidos y materiales estructurales fabricados en el proyecto. Los programas de cualificación/certificación requeridos para los técnicos/inspectores de control de calidad de los productores y fabricantes incluyen:

- Programas nacionales, tales como:
  - Instituto Americano del Hormigón (ACI)
  - Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT)
  - Sociedad Americana de Soldadura (AWS)
  - Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE)
  - Instituto de Hormigón Prefabricado/Pretensado (PCI)

- Programas regionales:
  - Programa de Certificación de Técnicos de la Región del Atlántico Medio (MARTCP)
  - Programa de Certificación de Técnicos en Transporte de Nueva Inglaterra (NETTCP)
  - Alianza Occidental para la Calidad en la Construcción de Transportes (WAQTC)

- Programas estatales individuales

  Los técnicos/inspectores de control de calidad de los fabricantes (es decir, para materiales fabricados estándar) suelen estar obligados a estar cualificados de acuerdo con:

  - Normas reconocidas de la organización para cada industria manufacturera.
  - Cualificaciones basadas en experiencia relevante aceptable para la agencia.

En **el apéndice E** se resume una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de control de calidad de la agencia, incluida la cualificación de los técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción (HMA y PCC).

Personal del laboratorio de control de calidad

Aunque los fabricantes, constructores y productores suelen disponer de laboratorios de ensayo en sus instalaciones de producción, puede ser necesario un laboratorio de control de calidad del proyecto para realizar algunas pruebas de control de calidad. Esto suele ser un requisito en los proyectos de construcción de mayor envergadura.

El laboratorio de control de calidad del proyecto puede estar ubicado en la obra o puede ser un laboratorio consultor externo.

El personal del laboratorio de control de calidad suele incluir un supervisor de laboratorio y técnicos de laboratorio. El número de técnicos necesarios vendrá determinado por el volumen de muestreo y pruebas de control de calidad que realice el laboratorio de control de calidad.

Las principales funciones del personal del laboratorio de control de calidad incluyen:

- Obtención de muestras de control de calidad de materiales del lugar de la obra o de las instalaciones de producción.
- Realización de pruebas de laboratorio con las muestras de control de calidad.
- Preparación y firma de formularios estándar de informes de pruebas de control de calidad.
- Proporcionar comentarios al personal de producción basados en los resultados de las pruebas de control de calidad.
- Identificar los materiales que no cumplen los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad y comentarlo con el responsable de control de calidad.

Todo el personal del laboratorio de control de calidad debe estar debidamente cualificado para desempeñar las funciones mencionadas anteriormente. El personal del laboratorio de control de calidad debe estar cualificado/certificado para cada uno de los materiales que muestrea y prueba. Los requisitos de cualificación/certificación del personal del laboratorio de control de calidad suelen estar especificados para diversos materiales por la agencia contratante. Los programas de cualificación/certificación requeridos para el personal del laboratorio de control de calidad que realiza el muestreo y las pruebas de los materiales producidos en el proyecto, los materiales fabricados o los materiales fabricados de forma estándar suelen ser los mismos que los descritos anteriormente para los técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción. En **el apéndice E** se resume una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias, incluida la cualificación del personal del laboratorio de control de calidad.

Técnicos/inspectores de control de calidad de campo

Las actividades de control de calidad durante la colocación o instalación de materiales en la obra deben ser realizadas por ***técnicos o inspectores de control de calidad*** con experiencia y debidamente cualificados. Este personal de control de calidad suele estar empleado por el contratista principal, el subcontratista que realmente coloca o instala los materiales, o el productor de los materiales. Se debe proporcionar técnicos/inspectores de control de calidad cualificados para cada categoría de trabajo importante contemplada en las especificaciones de garantía de calidad (por ejemplo, movimientos de tierra, material de subbase y base, pavimentos, elementos geotécnicos, hormigón estructural). El número de técnicos/inspectores de control de calidad requerido debe ser suficiente para proporcionar una inspección y pruebas de control de calidad adecuadas para cada elemento de trabajo activo.

Las principales funciones de cada técnico/inspector de control de calidad de campo incluyen:

- Realizar muestreos, pruebas e inspecciones de control de calidad de las operaciones de colocación en campo.
- Preparar y firmar los formularios estándar de informes de pruebas/inspecciones de control de calidad.
- Proporcionar información habitual al personal de producción (capataces/superintendentes) y al director de control de calidad/administrador del plan de control de calidad basándose en las inspecciones y pruebas de control de calidad.

En la sección 5.8 se presenta un resumen más detallado de las actividades de control de calidad sobre el terreno.

Los técnicos/inspectores de control de calidad de campo deben estar cualificados para realizar todas las pruebas o tareas de inspección de control de calidad necesarias para cada uno de los principales elementos de trabajo de los que son responsables. Las pruebas realizadas por los técnicos/inspectores de control de calidad de campo suelen referirse únicamente a los materiales producidos en el proyecto (es decir, movimientos de tierra, elementos geotécnicos, capas de base y subbase, asfalto mezclado en caliente, hormigón de cemento Portland, revestimientos de acero estructural y marcas de pavimento). Se requiere una inspección de campo durante la colocación de estos materiales producidos por el proyecto, así como para la instalación de materiales estructurales fabricados o materiales manufacturados estándar. Los técnicos/inspectores de control de calidad de campo pueden estar cualificados para realizar pruebas e inspecciones de múltiples elementos de trabajo. Los requisitos formales de cualificación/certificación para los técnicos/inspectores de control de calidad de campo suelen ser especificados por la agencia contratante para diversos elementos de trabajo importantes.

Los programas de cualificación/certificación requeridos especificados para los técnicos/inspectores de control de calidad de campo incluyen:

- Programas nacionales, tales como:
  - Instituto Americano del Hormigón (ACI)
  - Sociedad Americana de Soldadura (AWS)
  - Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE)

- Programas regionales:
  - Programa de Certificación de Técnicos de la Región del Atlántico Medio (MARTCP)
  - Programa de Certificación de Técnicos en Transporte de Nueva Inglaterra (NETTCP)
  - Alianza Occidental para la Calidad en la Construcción de Transportes (WAQTC)

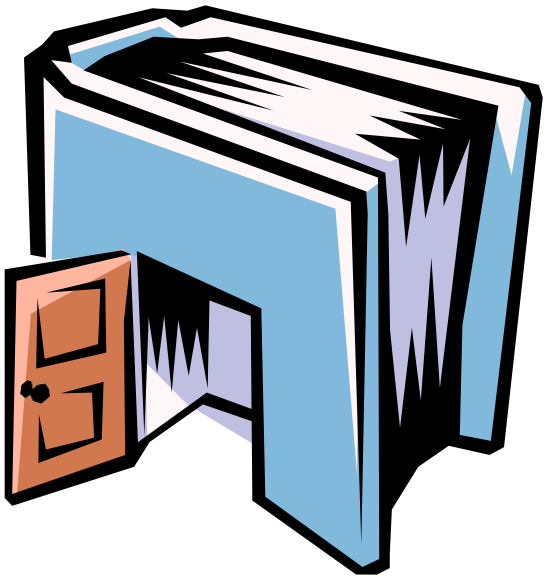
- Programas estatales individuales

En **el Apéndice E** se resume una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de control de calidad de las agencias, incluida la cualificación de los técnicos/inspectores de control de calidad sobre el terreno.

5.3 - Documentos operativos de control de calidad

Manual del sistema de calidad del contratista

Las agencias pueden exigir que el sistema de control de calidad de cada contratista (es decir, contratista principal, subcontratistas, productores, fabricantes, fabricantes) esté suficientemente documentado en un ***manual del sistema de calidad***. Un manual del sistema de calidad (QSM) se define de la siguiente manera:



> **Manual del sistema de calidad**: «Documento escrito que describe los procedimientos operativos generales de control de calidad de una parte contratista (por ejemplo, contratista principal, subcontratista, productor, fabricante, fabricante)».

Un manual del sistema de calidad documenta las políticas del contratista para lograr la calidad y la asignación de responsabilidades y rendición de cuentas para el control de calidad dentro de la organización del contratista. También describe los requisitos mínimos de control de calidad que se esperan de los contratistas de nivel superior o inferior con los que trabaja el contratista. Si bien es posible que un manual del sistema de calidad no sea un requisito específico en las especificaciones de garantía de calidad de la agencia, los contratistas que reconocen los numerosos beneficios de la calidad en sus operaciones prepararán y utilizarán este documento. El Manual del Sistema de Calidad suele ser un requisito para que los productores, fabricantes o fabricantes obtengan la certificación reconocida por la industria de sus instalaciones de producción (por ejemplo, PCI). Las directrices para la preparación de manuales del sistema de calidad suelen ser emitidas por organizaciones industriales que administran programas de certificación de instalaciones de producción. Además, la norma ISO 10013 contiene directrices sobre el desarrollo y la preparación de manuales del sistema de calidad. La norma AASHTO R 38 incluye normas para la preparación de manuales del sistema de calidad para materiales fabricados estándar.

Planes de control de calidad

Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia suelen exigir uno o varios ***planes de control de calidad*** (planes QC) para cada proyecto de construcción de transporte. Los planes de control de calidad se definen de la siguiente manera:

> **Plan de control de calidad**: «Documento específico del proyecto elaborado por el contratista en el que se identifica todo el personal y los procedimientos de control de calidad que se utilizarán para mantener «bajo control» todos los procesos de producción y colocación y cumplir los requisitos de las especificaciones de la agencia».

El plan de control de calidad tiene por objeto identificar al personal clave del proyecto y los procedimientos que se utilizarán para:

a) Mantener todos los procesos de producción y colocación «bajo control».

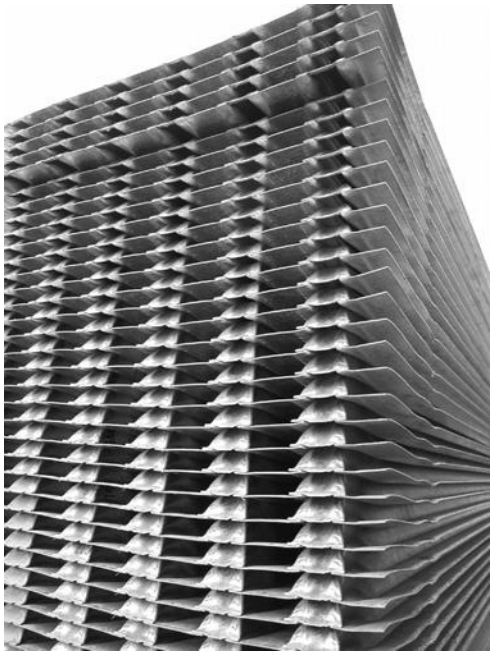
b) Determinar rápidamente cuándo un proceso está «fuera de control».

c) Tomar medidas correctivas para que un proceso «vuelva a estar bajo control».

En resumen, un plan de control de calidad tiene por objeto proporcionar una hoja de ruta a todas las partes contratistas de un proyecto de construcción para aplicar de manera tangible la filosofía de «cero defectos» de la gestión de calidad total y evitar que se produzcan problemas o «falta de calidad» desde el principio.

Las especificaciones de la agencia identificarán aquellas categorías de elementos de trabajo que requieren un plan de control de calidad. Normalmente se prepara un plan de control de calidad independiente para cada categoría de elementos de trabajo importante del proyecto. Sin embargo, algunas agencias aceptarán un único plan de control de calidad global, siempre que aborde satisfactoriamente (normalmente en secciones separadas) cada categoría de elementos de trabajo importante. Las categorías de elementos de trabajo del plan de control de calidad pueden incluir lo siguiente:

- Movimiento de tierras
- Drenaje y sistemas de agua
- Material de subbase y base
- Pavimentos
- Elementos geotécnicos
- Equipos de seguridad
- Elementos paisajísticos y de carretera
- Dispositivos de control del tráfico
- Pilotes y tablestacas
- Hormigón estructural de cemento Portland
- Acero estructural



5.4 - Requisitos del plan de control de calidad

Preparación del plan de control de calidad

La responsabilidad general de preparar e implementar los planes de control de calidad para un proyecto de construcción de transporte recae en el gerente de control de calidad del contratista principal. Como se mencionó anteriormente, es por eso que el gerente de control de calidad del contratista principal también puede denominarse administrador del plan de control de calidad. Cada plan de control de calidad debe identificar los procesos de control de calidad de todos los fabricantes, fabricantes, productores o subcontratistas involucrados en el elemento de trabajo principal abordado por el plan de control de calidad.
En consecuencia, el responsable de control de calidad del contratista principal (administrador del plan de control de calidad) debe trabajar en estrecha colaboración con el responsable de control de calidad de cada fabricante, proveedor, productor y subcontratista para garantizar que sus sistemas de control de calidad individuales
estén suficientemente documentados en el plan de control de calidad. Una forma de lograrlo es combinar la información de control de calidad de cada contratista en un único plan de control de calidad independiente.
Otro enfoque consiste en insertar planes de control de calidad separados, preparados por los subcontratistas, productores y fabricantes, en un apéndice del plan de control de calidad principal.

Los sistemas de control de calidad para los artículos de los fabricantes (es decir, materiales fabricados estándar) se establecen generalmente para proporcionar productos estándar que no cambian de un proyecto a otro. En consecuencia, normalmente se exige a los fabricantes que mantengan un manual del sistema de calidad (en lugar de un plan de control de calidad específico para cada proyecto). Es posible que se exija la presentación periódica (anual o semestral) de los manuales del sistema de calidad de los fabricantes directamente a las agencias de transporte para su aceptación o auditoría. Si el manual del sistema de calidad de un fabricante ha sido aprobado mediante este tipo de proceso, no es necesario incluir este documento en el plan de control de calidad de un proyecto de construcción. Sin embargo, se debe hacer referencia a los manuales del sistema de calidad de dichos fabricantes en el plan de control de calidad del proyecto correspondiente.

Presentación del plan de control de calidad

Cada borrador del plan de control de calidad debe ser presentado para su revisión por el responsable de control de calidad de cada contratista relevante antes de su presentación a la agencia para su aceptación. Esto garantizará que el plan de control de calidad refleje con precisión el papel de cada contratista en la producción y colocación del elemento de trabajo principal en cuestión y permitirá resolver cualquier conflicto o información inexacta contenida en el plan de control de calidad.

Una vez que todas las partes contratistas estén de acuerdo con el plan de control de calidad, este deberá presentarse al representante del proyecto de la agencia correspondiente (normalmente el director del proyecto o el ingeniero residente) para su revisión y «aprobación» o «aceptación». (Nota: como se explica con más detalle en el capítulo 6 (sección 6.3), debido a consideraciones legales o de responsabilidad, algunas agencias indican que su acción es la «aceptación» en lugar de la «aprobación» del plan de control de calidad). Las especificaciones de control de calidad de la agencia normalmente especificarán los requisitos para la presentación de los planes de control de calidad por parte de los contratistas.

Algunas agencias exigen que se presente un borrador de todos los planes de control de calidad de los contratistas antes de la reunión previa a la construcción del proyecto (normalmente 5 días antes). Esto permite que, en la reunión previa a la construcción, el contratista pueda ofrecer una explicación detallada y un debate inicial sobre el contenido del plan de control de calidad con la agencia. Otras agencias exigen que los planes de control de calidad se presenten para su revisión y aprobación (o aceptación) como mínimo número de días antes del inicio de la actividad de construcción del elemento de trabajo en cuestión (normalmente 30 días antes). Cualquiera de los dos enfoques tiene por objeto proporcionar tiempo suficiente para que la agencia realice la revisión, se celebren reuniones posteriores para debatir preguntas o comentarios y, si es necesario, se vuelva a presentar el plan de control de calidad. Las especificaciones de garantía de calidad suelen indicar que el contratista no puede comenzar a trabajar en un elemento de trabajo individual hasta que la agencia haya aprobado (o aceptado) el plan de control de calidad correspondiente.

En **el apéndice E** se resume una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de la agencia, incluida la presentación de planes de control de calidad.

Formato y contenido del plan de control de calidad

Como se ha mencionado anteriormente, cada plan de control de calidad debe documentar suficientemente los procesos de control de calidad de todas las partes contratistas (es decir, el contratista principal, los subcontratistas, los productores, los fabricantes y los fabricantes) que participan en la producción y colocación de materiales para una categoría de trabajo importante en particular. Un plan de control de calidad no pretende ser un documento genérico o «estándar», sino que debe ser específico para cada proyecto. Debe reflejar los procesos de control de calidad reales que se aplicarán en un proyecto de construcción concreto.

La preparación y presentación de un plan de control de calidad no puede considerarse un «ejercicio teórico». Cada plan de control de calidad debe redactarse de forma clara y sencilla, de modo que pueda servir como documento de trabajo útil. A riesgo de sonar cliché, lo que se busca es «calidad, no cantidad». Sin embargo, los detalles son muy importantes, y cada plan de control de calidad debe ser exhaustivo en cuanto al nivel de información proporcionada.

Las especificaciones de garantía de calidad de las agencias suelen identificar el contenido mínimo requerido para el plan de control de calidad, pero no siempre prescriben un formato específico. En **el apéndice E** se resume una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias, incluido el contenido mínimo del plan de control de calidad que suelen especificar las agencias. Se recomienda incluir los elementos que se presentan a continuación en cualquier plan de control de calidad. Se resumen para seguir tanto el formato recomendado para el plan de control de calidad como el contenido mínimo específico.

- **Términos y definiciones (opcional):** presenta y define cualquier término significativo utilizado en todo el plan de control de calidad con el fin de establecer una comprensión uniforme de los conceptos esenciales y evitar posibles confusiones posteriores. Algunos ejemplos de estos términos son *«límites de acción»*, *«tira de control», «muestra aleatoria»,* etc. Todos los términos definidos en el plan de control de calidad deben reflejar las definiciones de la agencia.

- **Especificaciones aplicables:** los elementos de trabajo abordados en el plan de control de calidad generalmente harán referencia a la especificación de garantía de calidad aplicable de la agencia, así como a otros documentos de especificación pertinentes. Se debe presentar una lista de esas especificaciones (con los números de sección pertinentes, cuando corresponda) para facilitar la búsqueda y revisión de la información pertinente que no está contenida en el propio plan de control de calidad. Algunos ejemplos de especificaciones aplicables son:

  - Especificaciones estándar
  - Especificaciones complementarias
  - Disposiciones especiales del proyecto
  - Planos del proyecto

- **Organización de control de calidad:** el plan de control de calidad debe identificar al personal específico encargado del control de calidad y describir brevemente sus responsabilidades y cualificaciones pertinentes. Las responsabilidades del personal deben indicar claramente los niveles de autorización para hacer cumplir los puntos de retención en el trabajo, así como los puntos de contacto para cada persona identificada. Esta información debe proporcionarse para cada uno de los siguientes miembros del personal:

  - Administrador del plan de control de calidad
  - Gerentes de control de calidad del contratista
  - Técnicos/inspectores de control de calidad de las Instalaciones de producción
  - Personal del laboratorio de control de calidad
  - Técnicos/inspectores de control de calidad de campo

- **Laboratorios de control de calidad:** el plan de control de calidad debe incluir una lista de todos los laboratorios (laboratorios de control de calidad primarios, así como laboratorios de subcontratistas o productores) utilizados para analizar los materiales, junto con su ubicación, así como cualquier acreditación, certificación o cualificación pertinente. La lista debe incluir el nombre y los datos de contacto del director del laboratorio para facilitar la comunicación entre el personal durante el proyecto.

- **Control de materiales:** las fuentes de todos los materiales constitutivos (materiales producidos, fabricados o fabricados de forma estándar para el proyecto) que se prevé utilizar para el elemento de trabajo específico abordado en el plan de control de calidad. El plan de control de calidad también debe abordar los procedimientos de envío, almacenamiento o posible procesamiento (por ejemplo, RAP) de los materiales constituyentes, con el fin de controlar la calidad de los materiales que se suministran antes de la producción y la instalación. La información sobre el control de materiales debe abordar:

  - Tipos de materiales y fuentes de suministro
  - Propiedades de los materiales
  - Diseños de mezclas
  - Procesamiento de materiales existentes
  - Almacenamiento y acopio de materiales

- **Control de calidad, muestreo y ensayos:** el plan de control de calidad debe detallar los procesos utilizados para determinar las ubicaciones adecuadas para el muestreo de acuerdo con las frecuencias especificadas, así como la gestión de los materiales muestreados. La información debe incluir la identificación de lo siguiente:

  - Tamaños de lotes y sub-lotes
  - Plan de muestreo aleatorio
  - Sistema de identificación de muestras
  - Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad
  - Informes de resultados de pruebas de control de calidad
  - Procedimientos de almacenamiento y conservación de muestras de control de calidad

- **Gestión de las instalaciones de producción:** el plan de control de calidad debe incluir toda la información relevante relativa a la gestión de las instalaciones de producción. El objetivo de esta información es proporcionar al personal de control de calidad de las instalaciones de producción una comprensión clara del proceso de producción y de las actividades y procedimientos de control de calidad correspondientes (incluidos el muestreo, las pruebas, la inspección, etc.).

  análisis de la información de las pruebas, informes, etc.) que se utilizará para cumplir los requisitos de calidad de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Dicha información incluirá:

  - Calendario de operaciones de producción
  - Instalaciones y equipos de producción
  - Actividades de control de calidad previas a la producción
  - Actividades de control de calidad de la producción
  - Gráficos de control de las instalaciones de producción (ejemplos)
  - Procedimientos para la acción correctiva de materiales no conformes
  - Informes de inspección de control de calidad de la producción

❖ **Gestión sobre el terreno:** el plan de control de calidad debe incluir toda la información relevante relativa a la gestión sobre el terreno en lo que se refiere al control de calidad. El objetivo de esta información es proporcionar al personal de control de calidad sobre el terreno una comprensión clara del proceso de colocación o instalación y de las actividades y procedimientos de control de calidad correspondientes (incluidos el muestreo, las pruebas, la inspección, el análisis de la información de las pruebas, la presentación de informes, etc.) que se utilizarán para cumplir los requisitos de calidad de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Dicha información incluirá:

- Calendario de operaciones de prácticas en el campo
- Instalaciones y equipos para la colocación en el campo
- Procedimientos de la franja de control (cuando corresponda)
- Actividades de control de calidad en el campo
- Actividades de control de calidad del transporte y la entrega de materiales
- Actividades de control de calidad previas a la colocación
- Actividades de control de calidad de la colocación
    - Actividades de control de calidad de acabado y curado
- Gráficos de control de la colocación
- Procedimientos para la acción correctiva de materiales no conformes
- Informes de inspección de control de calidad sobre el terreno

❖ **Otros planes de control de calidad relevantes de los contratistas:** el plan de control de calidad debe incluir (en los apéndices) cualquier plan de control de calidad relevante de otros contratistas como parte del sistema de gestión de la calidad. Estos pueden incluir:

- Planes de control de calidad de los subcontratistas
- Planes de control de calidad de los fabricantes
- Planes de control de calidad de fabricantes

Plan de control de calidad del modelo

Para ayudar a los contratistas a desarrollar buenos planes de control de calidad, se incluye un «Plan modelo de control de calidad» en **el Apéndice F**. El formato y el esquema del Plan modelo de control de calidad siguen la información presentada anteriormente.
Este formato y contenido recomendados se han elaborado basándose en las directrices contenidas en la *Guía de implementación de garantía de calidad de la AASHTO* (1996) y también se basan en la experiencia de los contratistas, las agencias estatales y la FHWA. Se sugiere que las agencias adopten este plan modelo de control de calidad como documento de referencia estándar en su programa de garantía de calidad o en sus especificaciones de garantía de calidad.

Quality Assurance Technologist

Appendix F
Typical "Model Quality Control Plan"

State Route 99 Construction Project
Anytown, USA
Transportation Agency Contract #54321

ABC Contractors, Inc.

NETTCP
MODEL QC PLAN

Construction Quality Control Plan

Section 1 - Earthwork

December 2, 2002 Draft

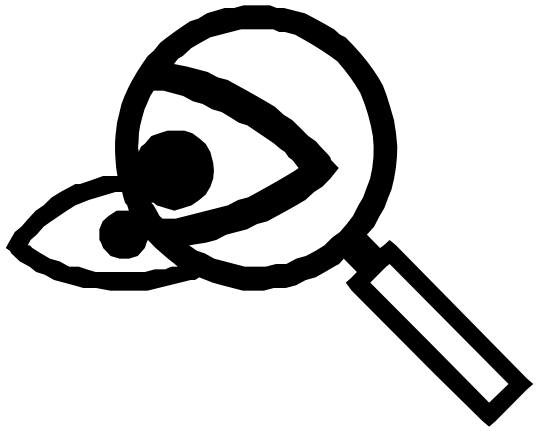
Submitted By: _____ ABC Contractors, Inc. _____ Date

Approved By: _____ Transportation Agency _____ Date

December 2002 PILOT F-5

5.5 - Inspección visual para el control de calidad

A menudo se considera que el control de calidad de los contratistas se centra principalmente en el muestreo y las pruebas. Sin embargo, ***la inspección visual*** también es esencial para lograr la calidad. Las actividades de inspección son casi en su totalidad visuales por definición, e implican la observación y medición de equipos, materiales, condiciones ambientales y mano de obra. Es igualmente importante garantizar un nivel adecuado de inspección visual tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno.



Las prácticas de inspección anteriores, que consistían en comprobar los defectos después de la producción o la colocación, no pueden garantizar la calidad. Las actividades de inspección de control de calidad deben basarse en la prevención, no en la detección. Obviamente, es más eficaz comprobar y corregir algo que podría afectar negativamente a la calidad final de un producto antes o cerca del inicio de una actividad de producción o colocación concreta, en lugar de después de que la operación esté ya en marcha o casi terminada. Este enfoque de la inspección es clave para el concepto de cero defectos de la gestión de calidad total (TQM) que se ha comentado anteriormente en este capítulo. Como se explica a continuación, un sistema de control de calidad exitoso para contratistas no solo se basa en inspecciones formales periódicas realizadas por el personal de control de calidad, sino que también utiliza inspecciones continuas de calidad por parte del personal de producción de primera línea.

Inspección por parte del personal de producción

Aunque la función principal del personal de producción del contratista (obreros, operarios, capataces y supervisores) es producir o instalar elementos específicos del trabajo, también deben desempeñar una función de control de calidad mediante ***la autoinspección***. Un buen sistema de control de calidad del contratista no espera a que los inspectores de control de calidad vengan y pongan su «sello de aprobación» en las actividades de producción o colocación de materiales. Comienza con los obreros, operadores, capataces y supervisores que están en primera línea de la producción y la colocación.

El personal del contratista que se dedica a proporcionar un producto de la mayor calidad posible participa activamente en la autoinspección continua de la calidad, aunque no sea su trabajo realizar muestreos, pruebas e inspecciones formales de control de calidad. Dicho de otro modo, el control de calidad no es una función discreta y departamentalizada de la organización del contratista que existe en el vacío, sino un elemento integrado en todo el proceso de producción y construcción.

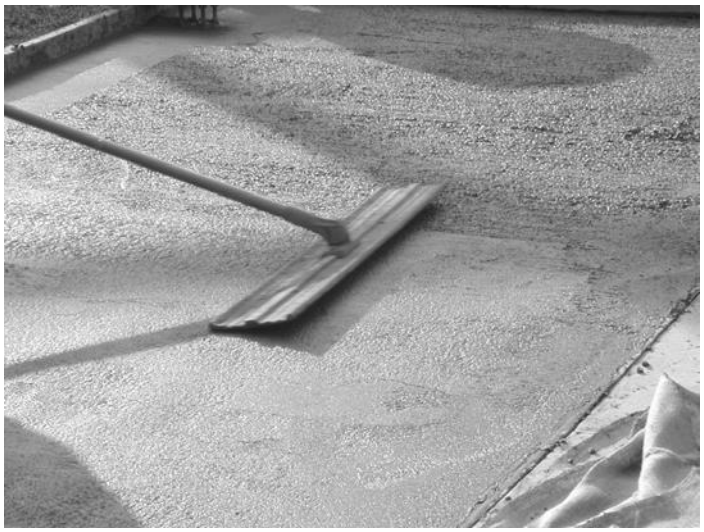
Aunque pueda parecer obvio que el personal de producción debe asumir la responsabilidad de la inspección previa de los materiales que utiliza y de la calidad de su trabajo, es posible que, lamentablemente, estos trabajadores no siempre comprendan claramente los requisitos para lograr la calidad. Para que el personal de producción de primera línea pueda realizar una autoinspección continua de la calidad, primero debe tener una comprensión uniforme de cómo lograrla, lo que incluye:

- Las herramientas y el equipo adecuados necesarios para realizar el trabajo.
- Qué constituye un equipo que funciona correctamente y las condiciones o circunstancias del equipo que pueden dar lugar a una falta de calidad.
- Cómo mantener estas herramientas y equipos adecuadamente limpios y en buen estado.
- Cómo son los materiales que cumplen con las especificaciones en una planta de producción, así como cuando se entregan en el lugar de colocación sobre el terreno.
- Procedimientos adecuados para el envío, la manipulación y el almacenamiento de los materiales.
- Prácticas adecuadas para la colocación o instalación de los materiales.
- Cómo es la «calidad de la mano de obra» del trabajo terminado.

Cuando el personal de producción cuenta con los conocimientos suficientes sobre estos detalles, es capaz de saber qué debe buscar a lo largo de las operaciones de producción, colocación o instalación de cada uno de los elementos de trabajo.

Las prácticas de autoinspección realizadas por el personal de producción de primera línea deben incluir observaciones del proceso de producción o colocación que pueden no estar explícitamente indicadas en las especificaciones de garantía de calidad, pero que, no obstante, afectarán a la calidad del producto. Las inspecciones de mantenimiento y calibración programadas periódicamente, así como la sustitución, reconfiguración o recalibración de componentes desgastados o defectuosos, son actividades importantes de inspección de control de calidad. Por ejemplo, la inspección y posterior sustitución de una criba desgastada en una trituradora de áridos o en una planta de producción de HMA puede tener un impacto global mayor en la calidad del producto que un mes de pruebas de gradación realizadas por el personal de control de calidad y las posteriores medidas correctivas que intentan diseñar una solución que «solucione» la causa raíz del problema.

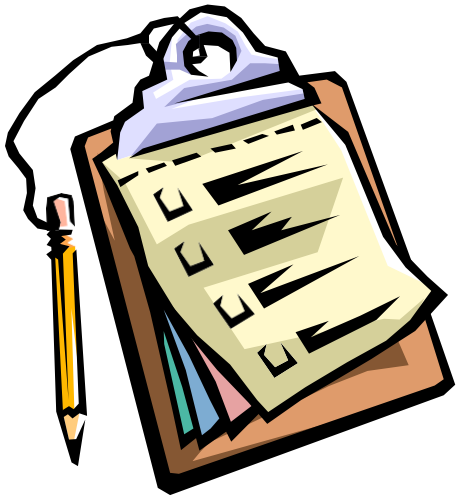
Los trabajadores cualificados y los capataces deben ser capaces de identificar los materiales inaceptables antes de incorporarlos al trabajo. Por ejemplo, si se entrega una barra de refuerzo recubierta de epoxi en el lugar de un proyecto y, tras una inspección visual inicial, se descubre que presenta corrosión o daños en el recubrimiento que requieren más que un pequeño retoque, el material no debe incorporarse al trabajo. Los trabajadores o capataces que trabajen con este material deben asumir la responsabilidad inicial de aceptar o rechazar dicho material. Por supuesto, este personal de producción siempre debe comunicar sus conclusiones y las medidas propuestas a sus inspectores o técnicos de control de calidad.



La «calidad de la mano de obra», aunque no siempre está muy bien definida en muchas especificaciones de garantía de calidad, también es muy importante supervisarla e inspeccionarla. Por ejemplo, el acabado excesivo de los trabajos de hormigón (es decir, añadir agua adicional a las superficies de hormigón para ganar trabajabilidad durante el acabado) dará lugar a una capa de mortero débil en la superficie que será más propensa a astillarse y desprenderse. El personal de producción de primera línea debe comprender claramente y prevenir estas prácticas que dan lugar a una mala deben ser claramente comprendidas y evitadas por el personal de producción de primera línea mediante una autoinspección continua.

Es importante incorporar actividades de autoinspección por parte del personal de producción como parte integral del sistema de control de calidad para garantizar la calidad del producto. El contratista que se esfuerza por ofrecer un producto de alta calidad (y, en el proceso, obtener un beneficio responsable) debe esforzarse por crear una cultura de calidad en toda la empresa, no solo en el departamento de control de calidad. Lo ideal es que el personal de producción del contratista sea consciente de cómo sus acciones pueden afectar a la calidad del producto y esté motivado para comunicarse con sus superiores y con el personal de control de calidad cuando se encuentre con problemas de inspección que identifiquen la necesidad de medidas preventivas o correctivas. En consecuencia, los contratistas deben invertir en la formación y capacitación continuas de su personal para maximizar su participación en el proceso de inspección para el control de calidad.

Inspección por parte del personal de control de calidad



Obviamente, la inspección para el control de calidad no puede basarse únicamente en la autoinspección realizada por el personal de producción. Ni siquiera los trabajadores más conscientes de la calidad que realizan la autoinspección pueden identificar todos los posibles problemas o defectos de calidad. Por lo tanto, la inspección formal de control de calidad debe ser realizada por técnicos/inspectores de control de calidad cualificados del contratista, bajo la dirección del responsable de control de calidad. El objetivo de la inspección realizada por los técnicos/inspectores de control de calidad es proporcionar un seguimiento estructurado de los procesos individuales de producción o colocación para garantizar que se cumplen
Proporcionar un producto de calidad. Al igual que los esfuerzos de autoinspección del personal de producción descritos anteriormente, las actividades formales de inspección de control de calidad tienen como objetivo prevenir que se produzcan problemas o trabajos de mala calidad tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno.

Las actividades mínimas de inspección de control de calidad realizadas por los técnicos e inspectores de control de calidad deben ser las descritas en el Plan de Control de Calidad del contratista. Sin embargo, el personal de inspección de control de calidad competente no se limita estrictamente al Plan de Control de Calidad y reconoce la necesidad de aumentar su nivel de esfuerzo de inspección para abordar circunstancias específicas según sea necesario.

Como mínimo, se debe realizar una inspección formal de control de calidad a diario para cada operación de producción o colocación activa. Los técnicos/inspectores de control de calidad de las instalaciones de producción deben realizar una inspección diaria de control de calidad antes, durante y después de la producción. Esto se aplica a las operaciones de producción en instalaciones que producen materiales fabricados estándar, materiales prefabricados o materiales producidos para proyectos. Del mismo modo, los técnicos/inspectores de control de calidad de campo deben realizar una inspección diaria de control de calidad antes, durante y después de la colocación de todos los materiales. Las actividades de inspección de control de calidad sobre el terreno deben estructurarse para abordar cada fase importante de una operación de colocación o instalación.

Las actividades de inspección de control de calidad deben incluir tanto la observación visual (por ejemplo, la uniformidad del material, el efecto de las prácticas operativas en la calidad) como la comprobación de las mediciones (por ejemplo, la temperatura, las dimensiones de los moldes o el material) para cada uno de los cuatro componentes principales siguientes:

- Equipo
- Materiales
- Condiciones ambientales
- Fabricación del producto

A continuación se presenta una breve descripción junto con ejemplos de cada uno de estos componentes de la inspección de control de calidad. Cabe señalar que los ejemplos proporcionados no son exhaustivos y solo pretenden ilustrar los tipos de actividades de inspección de control de calidad que deben realizarse en diversas operaciones de producción y colocación.

Inspección de control de calidad del equipo

La inspección de ***los equipos*** por parte del personal de control de calidad debe incluir comprobaciones visuales para garantizar que tanto los equipos utilizados para la instalación del producto como los utilizados para comprobar las propiedades de los materiales se encuentran en buen estado de funcionamiento y se mantienen adecuadamente. También se debe realizar una calibración periódica de los equipos.

A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de los equipos en las instalaciones de producción:

- Equipos de instalaciones de hormigón prefabricado: comprobar los encofrados (es decir, que estén limpios y sin abolladuras); comprobar y calibrar los equipos de vibración. Calibrar los medidores de presión de aire utilizados para determinar el contenido de aire del hormigón recién mezclado.
- Equipos para plantas de hormigón: inspección visual de silos, contenedores y cintas transportadoras; calibración de básculas, depósitos de agua y aditivos, y sistema de descarga.
- Equipos de fabricantes de tuberías de PVC: inspecciones visuales y calibración de equipos de montaje automatizados; comprobación del producto en la línea de montaje (los productos defectuosos indican que es probable que haya un problema con los equipos).

A continuación se muestran algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de equipos en el campo:

- Equipos de pavimentación HMA: comprobación de los rodillos vibratorios para garantizar que los medidores de frecuencia y amplitud funcionan correctamente.
- Equipos de señalización vial: comprobar y calibrar los medidores de temperatura; comprobar que las boquillas pulverizadoras tengan la apertura adecuada y no estén obstruidas.
- Equipos de transporte de hormigón: comprobar la limpieza, el buen estado y el tamaño adecuado de las aberturas de los mecanismos de carga y descarga.

Inspección de control de calidad de los materiales

La inspección de ***los materiales*** debe incluir un examen de las propiedades y el estado físico de los materiales en cada etapa de la producción y la colocación. También incluye la revisión de los certificados de conformidad (COC) de los materiales recibidos de los fabricantes o productores para garantizar que se utiliza el tipo de material correcto y que los materiales cumplen los requisitos de las especificaciones.

A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de los materiales en las instalaciones de producción:

- Áridos-comprobaciones visuales de los áridos en la cinta transportadora para verificar que sean del tipo correcto y en las proporciones adecuadas para la mezcla de HMA o PCC específica.
- Producto asfáltico reciclado (RAP)-comprobaciones visuales de la uniformidad del tamaño del material; comprobaciones para garantizar que no haya materiales extraños en las pilas de almacenamiento.
- Ligante PG-comprobación del COC del fabricante para confirmar que se entrega el tipo/grado correcto de ligante en la instalación de producción de HMA y que las pruebas del fabricante (proveedor) cumplen los requisitos de las especificaciones.

A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de materiales en el campo :

- Material para terraplenes de carreteras- utilice la clasificación visual del suelo para confirmar que se está entregando y colocando el material correcto; tome medidas de control de las rocas grandes en la elevación para asegurarse de que no superen el tamaño máximo permitido; observe que se hayan eliminado todos los materiales orgánicos del material.

- Barras de refuerzo recubiertas de epoxi-compruebe la certificación del fabricante y las marcas de las barras de refuerzo para verificar que sean del tipo y grado correctos; inspeccione si hay suciedad o contaminantes, daños en el epoxi o corrosión.
- Asfalto mezclado en caliente- asegúrese de que los materiales entregados no presenten vapor excesivo (que indica la presencia de humedad) ni humo azul (que indica calor excesivo).

Inspección de control de calidad de las condiciones ambientales

La inspección de ***las condiciones ambientales*** debe incluir la supervisión visual y mediciones para garantizar que se proporciona el entorno físico adecuado (por ejemplo, limpieza de los contenedores/superficies de almacenamiento, partículas en el aire, niveles de humedad, temperaturas, precipitaciones, etc.) para el almacenamiento, la producción, la colocación y el curado de materiales o productos individuales.

A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de las condiciones ambientales en las instalaciones de producción:

- Existencias y contenedores del productor- inspeccione las existencias y los contenedores para comprobar que el almacenamiento sea adecuado (los diferentes áridos estén debidamente separados, no haya exceso de humedad y no se produzca segregación).
- Instalaciones de producción de HMA- compruebe la temperatura de los tanques de almacenamiento de ligante PG; compruebe que se mantenga la temperatura adecuada en la mezcladora de tambor.
- Instalaciones de fabricación de acero/recubrimientos- compruebe y supervise los niveles de polvo o partículas en suspensión en el taller; mida la temperatura y la humedad del aire ambiente.

A continuación se presentan algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de las condiciones ambientales en el campo:

- Material de la subbase- evalúe visualmente el material de la subrasante y la subbase para asegurarse de que las condiciones de humedad parecen ser óptimas (es decir, que no esté congelado, demasiado húmedo o demasiado seco) antes y durante la colocación de la subbase.
- Operación de pavimentación con HMA- mida la temperatura del aire ambiente y de la superficie existente sobre la que se va a colocar el HMA; compruebe visualmente la limpieza de la superficie existente (es decir, que no haya suciedad, grava, hojas u otros residuos).
- Curado estructural del PCC-supervisar la adecuación de la humedad continua para el curado; tomar mediciones de control de la temperatura de la superficie bajo las mantas (es decir, en climas fríos) y de la temperatura interna (es decir, en climas cálidos/hormigón en masa).

Inspección de control de calidad de la mano de obra del producto

La inspección de ***la mano de obra*** se centra en la calidad de un elemento directamente atribuible al proceso de producción, colocación o instalación por parte de mano de obra y equipos.
Es particularmente (aunque no exclusivamente) aplicable a aquellos procesos de producción o colocación que están menos automatizados.

La inspección de control de calidad de la mano de obra en las instalaciones de producción se aplica generalmente solo a los materiales fabricados y manufacturados.

A continuación se muestran algunos ejemplos de actividades de inspección de control de calidad de la mano de obra en el campo:

- Colocación de tierra-compruebe las medidas de profundidad de los movimientos de tierra para asegurarse de que la colocación no exceda la profundidad máxima permitida.
- Colocación de HMA- supervisar la calidad de la capa de HMA para detectar segregaciones; comprobar que las juntas estén bien ajustadas con un mínimo de trabajo de alisado (es decir, que los trabajadores no «esparzan» el HMA).
- Colocación de hormigón- comprobar que se han colocado los tipos correctos de barras de refuerzo en los encofrados; comprobar que las barras de refuerzo instaladas estén en las ubicaciones y con el espaciado y la profundidad de cobertura adecuados antes de colocar el hormigón.

Documentación y comentarios de la inspección de control de calidad

Todas las actividades de inspección de control de calidad realizadas por los técnicos/inspectores de control de calidad deben documentarse diariamente en ***los formularios de informe de inspección*** (IRF) estándar. Se recomienda elaborar y utilizar IRF separados para la inspección de las instalaciones de producción y la inspección de la colocación en el terreno para cada categoría principal de elementos de trabajo.
Los formularios de informe de inspección deben abordar cada uno de los cuatro componentes principales de la inspección de control de calidad (es decir, equipos, materiales, condiciones ambientales y mano de obra del producto) mencionados anteriormente. Lo ideal es que el formato de los IRF incluya un esquema o una lista de casillas de verificación con los elementos clave de la inspección, junto con espacio para anotar observaciones específicas, mediciones o revisiones de los certificados de conformidad del fabricante.

Para hacer un uso eficaz de la inspección de control de calidad, el personal de control de calidad debe proporcionar comentarios y aportaciones oportunos al personal de producción sobre los resultados de sus actividades de inspección de control de calidad. En consecuencia, los formularios de informe de inspección también deben proporcionar espacio para documentar las medidas correctivas específicas u otras instrucciones proporcionadas al personal de producción responsable de la operación concreta inspeccionada.

Los formularios de informe de inspección estándar, o formularios similares, también pueden ser utilizados por el personal de control de calidad del contratista, al que se le puede exigir que audite periódicamente las actividades de control de calidad de los contratistas de nivel inferior (es decir, subcontratistas, productores, fabricantes, fabricantes). Los resultados de dichas inspecciones deben compartirse de manera oportuna con el personal de control de calidad del contratista auditado.

Además de los formularios de informe de inspección diarios, también se pueden utilizar «listas de verificación previas a la fase» antes del inicio de una operación importante de producción o colocación. Las listas de verificación previas a la fase deben incluir todos los componentes de inspección (equipos, materiales y condiciones ambientales) que se considere que tienen un impacto en la calidad de la operación de producción o colocación. Normalmente se utilizan junto con un sistema de «aprobación» por parte del personal de inspección de control de calidad (aprobación previa a la producción, aprobación previa a la colocación) para indicar que se han realizado las comprobaciones suficientes para garantizar que el proceso está bajo control para alcanzar la calidad especificada.

Cada lista de verificación previa a la fase identificará normalmente los «puntos de retención» en la producción o la operación de colocación c lentifica condiciones no conformes. Cuando se invocan los puntos de retención, no se permite continuar con la operación de producción o colocación hasta que se hayan tomado las medidas correctivas satisfactorias y el técnico o inspector de control de calidad haya dado su aprobación final en la lista de verificación previa a la fase.

5.6 - Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad

El muestreo y las pruebas de control de calidad solo deben ser realizados por técnicos o inspectores de control de calidad debidamente cualificados para llevar a cabo los métodos específicos de muestreo y pruebas requeridos. Como parte de un sistema de control de calidad eficaz, el muestreo y las pruebas diarias de control de calidad deben realizarse a lo largo de toda la producción o colocación de todos los materiales (al inicio, durante y después). El muestreo y las pruebas de control de calidad en las instalaciones de producción incluyen los materiales manufacturados, fabricados o producidos para el proyecto. Los materiales de construcción que requieren muestreo y pruebas de control de calidad durante la colocación en el campo normalmente solo incluirán materiales producidos para el proyecto.

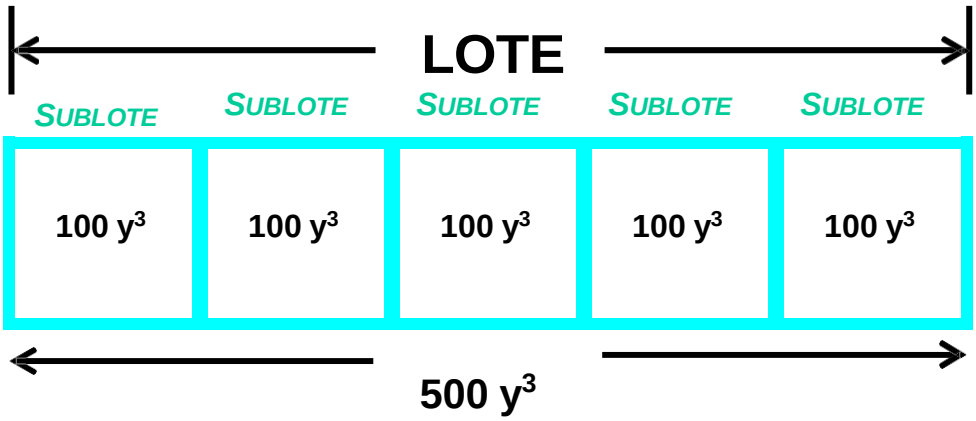
El muestreo y las pruebas de control de calidad permiten medir las propiedades específicas de los materiales o las características de calidad, tal y como se explicó en el capítulo 4. La función principal del muestreo y las pruebas de control de calidad es supervisar y orientar cada proceso de producción o colocación. Los datos de las pruebas de control de calidad se utilizan para determinar el grado de uniformidad o la variabilidad medida de los materiales o productos durante la producción o la colocación. Esta información se utiliza para identificar si un proceso específico de producción o colocación está «bajo control» y, por lo tanto, proporciona información para guiar al personal de control de calidad en la realización de ajustes o acciones correctivas en el proceso.

Además, los contratistas utilizan los datos de las pruebas de control de calidad para supervisar la calidad y la aceptabilidad de un material o producto determinado. Como se explicará con más detalle en el capítulo 6, los resultados de las pruebas de control de calidad también pueden incluirse en la decisión final de aceptación de una agencia para elementos de trabajo individuales.

Frecuencia del muestreo y las pruebas de control de calidad

El muestreo y las pruebas de control de calidad del contratista deben realizarse con una frecuencia suficiente para representar cantidades definidas de material. Como se explicó en el capítulo 4, los materiales utilizados para cada elemento de trabajo se evalúan por lotes. Cada lote de material debe representar material procedente de la misma fuente y haber sido producido o colocado bajo el mismo proceso controlado. Cada lote se estratifica o divide normalmente en sublotes de igual tamaño para evaluar las características de calidad del lote. Para proporcionar una evaluación matemáticamente representativa de la calidad de cada lote, el número mínimo de sublotes suele ser cuatro (4) o cinco (5). La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias identifican la frecuencia mínima requerida de muestreo y pruebas de control de calidad utilizando los tamaños de los lotes y sublotes.

Normalmente se requiere analizar una muestra de control de calidad de cada sublote. En **el apéndice E** se proporciona una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias, incluidos los tamaños de los lotes y sublotes especificados por las agencias para el muestreo y las pruebas de control de calidad.



Métodos de muestreo y ensayo de control de calidad

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias también identificarán las características de calidad sujetas al muestreo y las pruebas de control de calidad, así como los lugares de muestreo correspondientes y los métodos de prueba que se utilizarán. Los métodos de muestreo y ensayo requeridos serán normalmente los métodos de ensayo estándar designados por la AASHTO. Cuando no existan métodos de muestreo o ensayo estándar de la AASHTO, se suelen especificar los métodos de ensayo de la ASTM. Aunque no se recomienda, algunas agencias especificarán sus propios métodos de muestreo o ensayo, que suelen ser métodos de la AASHTO o la ASTM con algunas variaciones menores en el procedimiento.

En **el apéndice E** se incluye una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de control de calidad de las agencias, incluidos los requisitos mínimos de muestreo y ensayo de control de calidad (es decir, características de calidad, lugares de muestreo y métodos de ensayo) especificados por las agencias.

Si bien deben cumplirse los requisitos mínimos de muestreo y ensayo de una agencia, cada contratista debe diseñar un programa de muestreo y ensayo de control de calidad que proporcione datos suficientes para garantizar el control adecuado de su operación específica de producción o colocación. Para cada instalación de producción u operación de colocación, deben desarrollarse protocolos específicos de muestreo y ensayo de control de calidad que se adapten a las particularidades de cada caso.

equipos y métodos utilizados. En algunos casos, puede ser beneficioso para el contratista proponer muestreos y pruebas de control de calidad adicionales cuando se considere útil para controlar la calidad del producto. Por ejemplo, el programa de pruebas de control de calidad de un contratista en una planta de mezcla de tambor HMA requería que se obtuvieran muestras compuestas de la cinta transportadora para realizar pruebas de gradación (además del análisis mínimo de gradación de áridos extraídos exigido por la agencia) con el fin de calibrar mejor la alimentación de la cinta. Aunque este procedimiento se utilizaba de forma rutinaria durante toda la producción para obtener un mejor control del producto en esta planta de producción en particular, no todas las plantas de mezcla de tambor HMA pueden requerir estas pruebas adicionales.

Muestreo y pruebas aleatorias de control de calidad

Las muestras de control de calidad obtenidas de cada sublote deben seleccionarse aleatoriamente mediante un procedimiento de muestreo aleatorio. Como se explicó en el capítulo 4, el muestreo aleatorio evitará sesgos en los datos de las pruebas de control de calidad, lo que proporciona una imagen más fiel de la calidad del material que se produce o se coloca.

El personal de control de calidad del contratista suele ser responsable de seleccionar los puntos de muestreo aleatorio para cada operación de producción o colocación. La mayoría de las agencias exigen que los puntos de muestreo aleatorio se determinen de acuerdo con la norma ASTM D 3665 o mediante el uso de una función de generación de números aleatorios en una calculadora o computadora. Todas las ubicaciones de muestreo aleatorio de control de calidad deben determinarse antes del inicio de la operación de producción o colocación correspondiente (normalmente al comienzo del día) y ser documentadas por el personal de control de calidad en los formularios de informe de pruebas estándar. Se debe proporcionar una copia de los formularios de informe de muestreo aleatorio completados al personal de inspección de la agencia correspondiente, idealmente durante el inicio de la actividad de producción o colocación cada día.

Muestreo y pruebas selectivas de control de calidad

Además del muestreo aleatorio descrito anteriormente, los contratistas también suelen realizar muestreos no aleatorios o selectivos. Las pruebas realizadas mediante muestreo selectivo también se denominan a veces pruebas de información del contratista (CIT). Como se explicó en el capítulo 4, las muestras selectivas se utilizan para proporcionar información inicial o complementaria sobre el control de calidad con el fin de ayudar a supervisar el proceso de producción o colocación o para evaluar el efecto de los ajustes correctivos del proceso.

No existe una frecuencia prescrita para el muestreo y las pruebas selectivas de control de calidad. Las muestras selectivas de control de calidad se obtienen normalmente según las necesidades, a juicio del personal de control de calidad. El muestreo y las pruebas selectivas de control de calidad se realizan normalmente justo después del inicio de una operación individual de producción o colocación para confirmar que el proceso proporciona la calidad de producto requerida. Cuando la inspección visual de control de calidad identifica materiales aparentemente no conformes en cualquier punto del proceso de producción o colocación

, se pueden obtener muestras selectivas de control de calidad para ayudar a determinar la calidad real del producto y la(s) causa(s) raíz de la deficiencia.

Dado que el muestreo selectivo no es aleatorio y, por lo tanto, es sesgado, los resultados de las pruebas de las muestras selectivas de control de calidad nunca deben combinarse para el análisis del nivel de calidad con muestras aleatorias de control de calidad de un lote determinado. Una muestra selectiva de control de calidad solo proporciona una instantánea del proceso de control de calidad y de la calidad del producto.

Sistema de identificación de muestras de control de calidad

Otra responsabilidad importante del personal de control de calidad es garantizar que todas las muestras de control de calidad estén identificadas de forma clara y adecuada. Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden establecer un sistema concreto para la identificación de las muestras de control de calidad.

De lo contrario, el personal de control de calidad debe implementar un sistema fiable para etiquetar las muestras de control de calidad obtenidas de todas las operaciones de producción y colocación.

La importancia de establecer y aplicar de manera coherente un sistema de identificación de muestras de control de calidad no puede ser subestimada. El etiquetado inadecuado de las muestras de control de calidad puede dar lugar a que se combinen los datos de las pruebas de control de calidad de diferentes lotes o que se combinen los datos de muestras de control de calidad selectivas con los datos de muestras de control de calidad aleatorias, lo que provocaría que cualquier análisis posterior de los datos de control de calidad fuera defectuoso.

La información típica que es necesaria en un sistema de identificación de muestras de control de calidad incluye:

- Nombre o número del proyecto
- Tipo de material (por ejemplo, préstamo ordinario, HMA de 12,5 mm, barra de refuerzo epoxi n.º 9)
- Tipo de muestra de control de calidad (por ejemplo, control de calidad aleatorio, control de calidad selectivo)
- Número de lote y número de sublote
- Ubicación de la muestra (por ejemplo, mediana, arcén, muro del ala este)
- Estación, desplazamiento, profundidad
- Fecha de la muestra
- Técnico o inspector de control de calidad

Procedimientos de almacenamiento y conservación de muestras de control de calidad

También es importante que el personal de control de calidad establezca y aplique un sistema adecuado para el almacenamiento y la conservación de las muestras de control de calidad. Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden describir procedimientos específicos para el almacenamiento y la conservación de muestras.

Las prácticas de almacenamiento previas a las pruebas deben garantizar que todas las muestras de control de calidad se mantengan en un lugar adecuado que las proteja de daños y que proporcione el entorno adecuado para el curado del material o el mantenimiento de las propiedades requeridas del mismo.

Se recomienda dividir todas las muestras de control de calidad antes de realizar las pruebas, de acuerdo con los procedimientos de muestreo y prueba pertinentes. La parte de la muestra dividida que no se utilice para la prueba inicial deberá conservarse en el dispositivo de almacenamiento de muestras original con la identificación adecuada. La muestra dividida deberá almacenarse en una sala de almacenamiento de muestras adecuada en el laboratorio de control de calidad que haya realizado la prueba inicial durante un período razonable después de la prueba (normalmente, un mínimo de 30 a 60 días).

Análisis y aplicación de los resultados de las pruebas de control de calidad

El análisis oportuno de los datos de control de calidad proporciona una herramienta poderosa para que el personal de control de calidad confirme si un proceso de producción o colocación individual está bajo control y determine el nivel de calidad medido de los materiales. Es importante que el personal de control de calidad evalúe los datos de las pruebas de control de calidad en tiempo real. Esperar hasta que haya transcurrido un tiempo significativo (por ejemplo, el final del mes, el final del proyecto) o hasta que se hayan producido o colocado cantidades significativas de material para evaluar los resultados de las pruebas no constituye un control de calidad eficaz. Por consiguiente, el personal de control de calidad debe asegurarse de que los resultados de las pruebas de control de calidad se revisen adecuadamente y de que se tomen y documenten medidas correctivas oportunas, basadas en estos resultados, cuando sea necesario para controlar la calidad del material.

Si bien es importante que el análisis de los resultados de las pruebas de control de calidad se realice en tiempo real, también es necesario disponer de datos suficientes (es decir, número de resultados de pruebas) para proporcionar un análisis significativo. Como se explicó en el capítulo 4, debido a la variabilidad normal inherente a cualquier lote de material producido o colocado, los resultados de las pruebas de una sola muestra de control de calidad (o incluso de una muestra individual de la agencia) no pueden utilizarse para determinar la calidad general del lote. En su lugar, se deben utilizar múltiples valores de prueba de todo el lote (es decir, los resultados de las pruebas de los sublotes) para caracterizar el lote de material. Como se explica brevemente a continuación, las dos herramientas principales para el análisis de múltiples resultados de pruebas de control de calidad son:

- Gráficos de control
- Análisis del nivel de calidad

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias exigen el uso de ***gráficos de control*** por parte del personal de control de calidad del contratista. El desarrollo y el uso adecuados de los gráficos de control se presentan en detalle en el capítulo 9. Los gráficos de control se utilizan para trazar y supervisar los resultados consecutivos de las pruebas de control de calidad de una característica de calidad individual a lo largo de la producción o colocación de un elemento de trabajo.

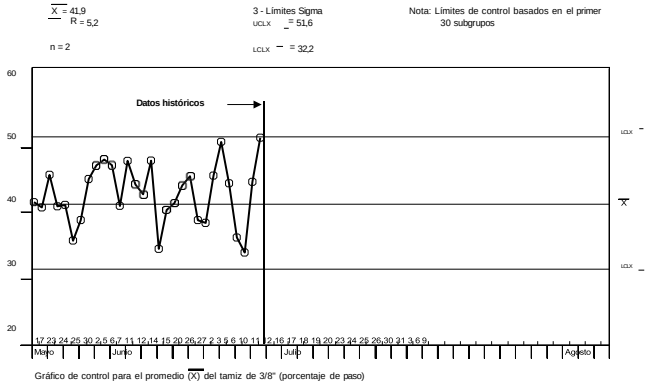


Gráfico de control para el promedio (X) del tamiz de 3/8" (porcentaje de paso)

Los resultados de las pruebas de control de calidad se pueden seguir en el gráfico de control en comparación con un valor objetivo del proceso y los «límites de control» superior e inferior. Los límites de control los establece el contratista (no la agencia) basándose en la variabilidad histórica del proceso de producción o colocación individual del contratista.

Al trazar y supervisar los resultados de las pruebas de control de calidad en un gráfico de control, el personal de control de calidad puede identificar patrones o tendencias en los resultados que indican si el proceso está bajo control o si se está alejando del rango de control deseado. Basándose en la información del gráfico de control, el personal de control de calidad debe coordinarse oportunamente con el personal de producción para determinar cuándo es necesario realizar ajustes o correcciones en el proceso de producción o colocación. Los gráficos de control deben utilizarse siempre para supervisar la producción en las instalaciones de los fabricantes, los transformadores y los productores. También pueden utilizarse para ayudar en el control de calidad durante la colocación de materiales sobre el terreno.

Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden exigir que el contratista utilice los resultados de sus pruebas de control de calidad para evaluar periódicamente el nivel de calidad de los materiales a lo largo de las operaciones de producción y colocación. La herramienta principal incluida en las especificaciones de garantía de calidad que se utiliza normalmente para evaluar los resultados de múltiples pruebas de control de calidad es un procedimiento ***de análisis del nivel de calidad (QLA)***. Como se explicará con más detalle en el capítulo 8, el análisis del nivel de calidad es una herramienta matemática que se utiliza para medir el nivel de variabilidad del material en relación con los límites objetivo y de especificación para una característica de calidad individual de un lote. El procedimiento QLA específico que se debe utilizar lo prescribe la agencia en las especificaciones de garantía de calidad.

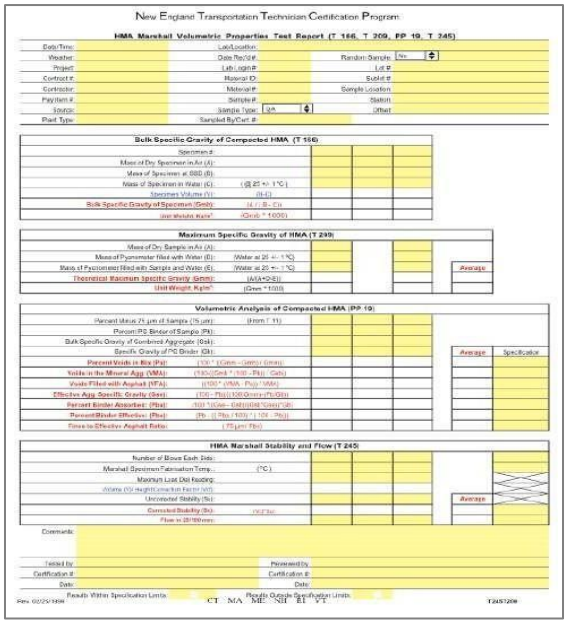
Como se ha mencionado anteriormente, los resultados de las pruebas de múltiples muestras de control de calidad deben ser supervisados y evaluados por el personal de control de calidad utilizando gráficos de control y procedimientos de análisis del nivel de calidad. Además, como se explica brevemente en el capítulo 4, las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden incluir límites de ingeniería (a veces denominados «límites de suspensión

») con respecto a los cuales deben evaluarse los resultados de las pruebas de control de calidad individuales. La razón para utilizar límites de ingeniería es identificar el material cuyo valor medido se encuentra fuera del rango esperado de variabilidad normal o aceptable. C l para un lote determinado se encuentra fuera de los límites de ingeniería, las especificaciones de garantía de calidad pueden exigir al contratista que suspenda la operación de producción o colocación y tome las medidas correctivas adecuadas para volver a controlar el proceso de producción o colocación. Además, la especificación puede exigir que el contratista realice pruebas de control de calidad adicionales en el sublote representado por el resultado de la prueba no conforme. Sobre la base del muestreo y las pruebas de control de calidad suplementarios, es posible que se exija que el material del sublote afectado se reelabore (si es posible), se prohíba su colocación (si se encuentra durante la producción) o se retire (si ya se ha colocado en el campo).

Documentación y comentarios sobre el muestreo y las pruebas de control de calidad

Todas las muestras y pruebas de control de calidad realizadas por técnicos o inspectores de control de calidad deben documentarse diariamente en ***formularios de informe de pruebas*** (TRF) estándar. Se recomienda elaborar TRF independientes para cada actividad de muestreo o prueba, o para cada grupo de pruebas relacionadas, realizadas en la planta de producción o en el lugar de colocación sobre el terreno para cada categoría principal de elementos de trabajo.

Los formularios de informe de pruebas deben utilizar la nomenclatura correcta del método de muestreo o prueba y deben estar diseñados para seguir paso a paso el procedimiento de muestreo o prueba, con líneas o casillas para registrar cada valor medido o calculado. Los TRF también deben incluir espacio para comentarios y deben proporcionar el nombre y el número de cualificación/certificación pertinente del técnico o inspector de control de calidad que realiza el muestreo o la prueba.


New England Transportation Technician Certification Program

HMA Marshall Volumetric Properties Test Report (T 166, T 209, PP 19, T 245)

Bulk Specific Gravity of Compacted HMA (T 166)

Maximum Specific Gravity of HMA (T 209)

Volumetric Analysis of Compacted HMA (PP 19)

HMA Marshall Stability and Flow (T 245)

En **el apéndice G** se incluyen ejemplos de formularios de informe de pruebas estándar.

Para aquellos procesos de producción o colocación que utilizan gráficos de control, el personal de control de calidad debe transferir diariamente todos los resultados de las pruebas de control de calidad pertinentes de los formularios de informe de pruebas completados a los gráficos de control. Del mismo modo, siempre que se realice un análisis del nivel de calidad, se deben documentar los resultados. Cualquier recomendación o medida indicada por estas herramientas para el análisis de los resultados de las pruebas de control de calidad debe comunicarse oportunamente al personal de producción y al personal de la agencia.

En **la sección 5.9**, **Registros de control de calidad**, se presentan más directrices para documentar y mantener registros adecuados de muestreo y pruebas **de control** de **calidad**.

5.7 - Actividades de control de calidad en las instalaciones de producción

Como se ha expuesto, hay muchas actividades que deben realizar el personal de producción del contratista y el personal de control de calidad para garantizar un producto de calidad. El número total de técnicos/inspectores de control de calidad cualificados presentes en las instalaciones de producción debe basarse en la capacidad del contratista para llevar a cabo de manera eficaz las actividades indicadas en su plan de control de calidad.

El sistema general de control de calidad del contratista para un proyecto de construcción de transporte determinado debe comenzar en las instalaciones de producción (es decir, fabricantes, fabricantes y productores) para los materiales fabricados y producidos, así como para los materiales producidos por el proyecto. Teniendo esto en cuenta, hay algunas actividades generales que deben realizarse a diario en el desempeño del control de calidad y que no son específicas de una instalación de producción concreta. Estas actividades generales de control de calidad se resumen a continuación en función de las fases del proceso de producción (preproducción, inicio de la producción, durante la producción y posproducción). Este resumen no tiene en cuenta los requisitos individuales de cada organismo, ni pretende dictar cuándo y dónde son apropiados los procedimientos específicos de control de calidad.

Actividades de control de calidad previas a la producción

- Llegue antes del inicio de la producción para preparar el trabajo del día.
- Avise al personal responsable de su presencia.
- Verifique que el trabajo de producción sigue programado y no se ha retrasado.

- Verifique los totales de producción previstos (esto es importante, ya que la determinación del tamaño de los sublotes y/o el número requerido de muestras aleatorias puede depender del total de producción).

- Encienda cualquier equipo necesario para el muestreo y las pruebas (calentamiento, calibración, preparación y/o mantenimiento según sea necesario para cumplir con los requisitos del procedimiento de prueba).

- Comience a rellenar los registros necesarios con la información diaria, a veces denominados ***«Diario de la planta de producción de control de calidad***», que deben incluir hora de llegada a las instalaciones, información meteorológica (precipitaciones, temperatura), presencia de otro personal de control de calidad o de la agencia en las instalaciones (nombres y horas de presencia), así como cualquier retraso o cancelación significativa en la producción y las causas de dichos retrasos o cancelaciones.

- Seleccione números aleatorios y determine ubicaciones de muestreo aleatorias (de acuerdo con los requisitos de la agencia).

- Compruebe las fórmulas de mezcla de trabajo introducidas en el sistema de automatización de la planta de producción y compárelas con la fórmula de mezcla de trabajo aprobada.

- Verificar que los materiales utilizados proceden de una fuente aprobada.

- Inspeccionar los materiales de origen para comprobar que se almacenan correctamente e identificar cualquier incidencia problemática (por ejemplo, segregación en las reservas).

Actividades de control de calidad al inicio de la producción

- Supervisar la producción inicial de material para verificar que se está produciendo el material correcto.

- Evaluar el estado general del material producido mediante una combinación de observación visual del proceso y del producto y/o pruebas según sea necesario.

- Realizar las pruebas de puesta en marcha necesarias para garantizar que el proceso está bajo control.

- Considerar la posibilidad de obtener muestras selectivas de la producción inicial para comenzar a caracterizar el producto.

- Rechazar cualquier material producido durante la puesta en marcha que se considere no conforme o de calidad inaceptable.

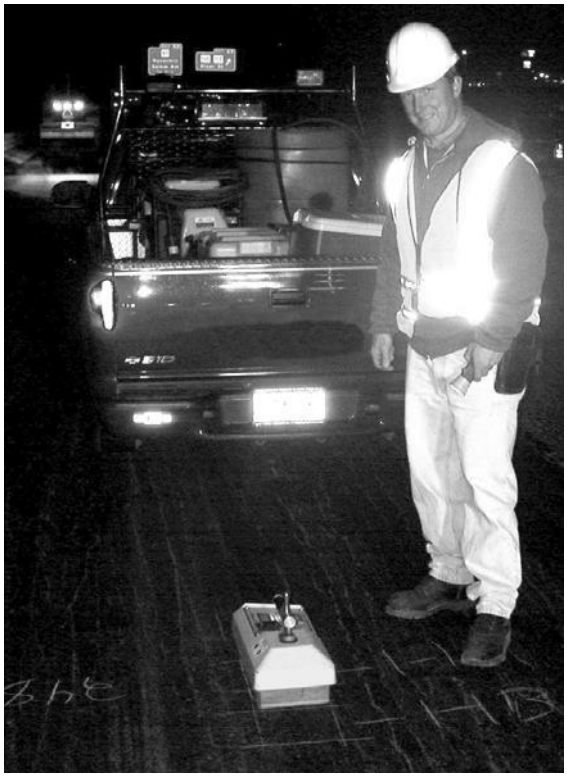
- Alertar al personal de producción sobre la naturaleza de la no conformidad, determinar la(s) causa(s) y tomar las medidas correctivas adecuadas.

- Comunicar al personal de control de calidad sobre el terreno cualquier información que pueda ser útil para conseguir un producto de calidad.

Actividades de control de calidad durante la producción

- Seguir supervisando tanto el proceso como el producto durante la producción para garantizar la calidad.
- Realizar inspecciones visuales periódicas de los componentes y operaciones de las instalaciones de producción durante la producción.
- Identificar las prácticas o materiales de las instalaciones de producción que no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad.
- Discuta las medidas correctivas adecuadas para el proceso con los capataces/superintendentes de las instalaciones de producción y el director de control de calidad.
- Prepare y firme los formularios estándar de informe de inspección de control de calidad.
- Obtenga muestras de control de calidad del material en la planta de producción utilizando ubicaciones aleatorias determinadas durante la fase previa a la producción.
- Etiquetar todas las muestras de control de calidad con la información requerida (por ejemplo, lote, sublote, fecha, etc.) y almacenarlas de forma ordenada durante el tiempo prescrito por la agencia y según se describe en el plan de control de calidad.
- Realizar las pruebas de control de calidad requeridas con la frecuencia indicada en el plan de control de calidad.
- Realizar cualquier muestreo selectivo adicional cuando sea necesario para verificar la producción adecuada o para evaluar el efecto de las medidas correctivas adoptadas cuando el producto sea inaceptable.
- Realizar cualquier nuevo muestreo o nueva prueba que sea necesario de acuerdo con las directrices de la agencia y según lo indicado en el Plan de Control de Calidad.

- Preparar y firmar los formularios estándar de informe de pruebas de control de calidad.
- Comparar los resultados de las pruebas realizadas en el material con cualquier especificación y/o límite técnico indicado en el plan de control de calidad.
- Trace los resultados de las pruebas de control de calidad en gráficos de control y utilice estos gráficos como herramienta analítica para evaluar el grado de control sobre el proceso de producción.
- Cuando los resultados de las pruebas sean inaceptables en términos de cualquier límite o cuando los gráficos de control indiquen tendencias que puedan afectar negativamente a la calidad del producto, investigue inmediatamente las causas del problema.
- Proporcione información periódica al personal de producción y al responsable de control de calidad/administrador del plan de control de calidad basándose en los resultados de las inspecciones y pruebas de control de calidad.
- Asegúrese de suspender el transporte de materiales no conformes desde las instalaciones de producción.
- Comunicarse con el personal de control de calidad sobre el terreno para transmitir la información de las pruebas relativas al producto.
- Obtenga comentarios del personal de control de calidad sobre el terreno en relación con cualquier problema de instalación que se vea afectado por las características del producto y realice ajustes en el producto entregado cuando dichos ajustes mantengan el producto dentro de los límites requeridos y mejoren el proceso de instalación sobre el terreno.



- Comunicarse con el personal de la agencia según sea necesario, de acuerdo con las directrices de la Especificación de Garantía de Calidad y el Plan de Control de Calidad.

- Facilitar a la agencia el uso del laboratorio de la planta de producción por parte de los técnicos o inspectores de la agencia (cuando sea necesario).

- Someterse a auditorías de las actividades de control de calidad realizadas por personal de control de calidad de otros contratistas o personal de la agencia (incluidas auditorías tanto de los equipos como de los procedimientos de ensayo).

- Cuando se determine una causa asignable para un producto de calidad inferior, corregir la situación y documentar todas las correcciones en el ***diario de la planta de producción de control de calidad***.

- Realizar las actividades diarias de control de calidad con la frecuencia requerida y registrar toda la información o los resultados obtenidos de dichas actividades en el ***diario de la planta de producción de control de calidad***.

- Realizar cualquier calibración y/o verificación periódica del equipo de laboratorio de acuerdo con la frecuencia requerida.

- Mantenga registros actualizados de todas las actividades de control de calidad de forma regular.

Actividades de control de calidad posteriores a la producción

- Asegúrese de que toda la información (números aleatorios, ubicaciones de las muestras, resultados de las pruebas, observaciones visuales, etc.) se haya registrado en los formularios de informe de inspección y de informe de pruebas correspondientes.

- Coloque todos los formularios de informe de inspección y de informe de pruebas completados en ***el libro de registros de la planta de producción de control de calidad***.

- Actualice los registros resumidos de producción según lo requiera la agencia.

- Rellene las certificaciones necesarias en función de los resultados de las pruebas de control de calidad.

- Limpie las instalaciones del laboratorio y todo el equipo utilizado antes de abandonar las instalaciones de producción.

- Realice cualquier trabajo preparatorio para el siguiente día de producción.

5.8 - Actividades de control de calidad sobre el terreno

Las actividades de control de calidad sobre el terreno (como las actividades de control de calidad en las instalaciones de producción) consisten en el muestreo, las pruebas y la inspección diarios, así como otras actividades relacionadas menos frecuentes (incluida la asistencia a reuniones previas al trabajo). Los contratistas (es decir, el contratista principal y los subcontratistas) responsables de la colocación real sobre el terreno en los proyectos de construcción de transporte de construcción deben garantizar la coordinación y la comunicación continuas entre el personal de producción y el personal de control de calidad en el lugar de la colocación sobre el terreno.

Las actividades generales que se realizan a diario en el desempeño del control de calidad en el campo y que no son específicas de un producto manufacturado/fabricado en particular o de un material producido para un proyecto se resumen a continuación en términos de las fases de colocación o instalación del producto (antes de la colocación, inicio de la colocación, durante la colocación y después de la colocación).

Actividades de control de calidad previas a la colocación

- Llegar antes de la hora prevista para la instalación con el fin de preparar el trabajo del día y realizar cualquier actividad de inspección previa a la instalación.
- Avisar al personal responsable de su presencia.
- Verifique que el trabajo de colocación siga programado y confirme los totales previstos de entrega de materiales.
- Asegúrese de que todos los elementos relevantes previos a la colocación/instalación se inspeccionen y sean aceptables antes de la entrega de los materiales.
- Cuando se descubran elementos no aceptables, avise a las partes responsables para que los corrijan antes de la instalación.
- Se pueden utilizar formularios de informe de inspección o listas de verificación previas a la fase para garantizar la uniformidad de las inspecciones de los elementos previos a la colocación/instalación.
- Inspeccione cualquier equipo que se vaya a utilizar en el proceso de colocación/instalación para asegurarse de que está en buenas condiciones de funcionamiento y cumple los requisitos mínimos para dicho equipo de acuerdo con las directrices de la agencia y el plan de control de calidad.
- El personal de control de calidad puede ayudar en la coordinación de las actividades in situ para maximizar la eficiencia del proceso de instalación.
- Configure o encienda cualquier equipo necesario para el muestreo y las pruebas (calentamiento, calibración, preparación y/o mantenimiento según sea necesario para cumplir con los requisitos del procedimiento de prueba).

- Comience a rellenar los registros necesarios con la información diaria, a veces denominados ***«diario de campo de control de calidad»***, que deben incluir la hora de llegada al lugar de trabajo, la información meteorológica (precipitaciones, temperatura), la presencia de otro personal de control de calidad o de la agencia en el lugar de trabajo (nombres y horas de presencia), así como cualquier retraso o cancelación significativa de la instalación y las causas de los retrasos o cancelaciones.

- Seleccione números aleatorios y determine ubicaciones de muestreo aleatorias (de acuerdo con los requisitos de la agencia).

Actividades de control de calidad al inicio de la colocación

- Supervise la colocación inicial del material para verificar que se manipula y coloca correctamente.

- Evalúe el estado general de los procedimientos de colocación/instalación mediante una combinación de observación visual del proceso y/o pruebas, según sea necesario.

- Cualquier procedimiento de instalación no estándar que no se ajuste al plan de control de calidad debe identificarse y eliminarse.

- Considere la posibilidad de obtener muestras selectivas de la entrega inicial de material para comenzar a caracterizar el producto.

- Avisa a los técnicos de control de calidad de la planta de producción de cualquier problema de instalación que pueda requerir el ajuste de una o más propiedades del material para mantener la consistencia.

Actividades de control de calidad durante la colocación

- Continúe supervisando el proceso de instalación para garantizar que se están utilizando los métodos adecuados de acuerdo con el plan de control de calidad.
- Realice una inspección visual de las operaciones de colocación o instalación en el campo.
- Identificar las prácticas de colocación en el campo o los materiales que no se ajustan a los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad.
- Discuta las medidas correctivas adecuadas con los capataces/superintendentes de campo y el gerente de control de calidad.
- Prepare y firme los formularios estándar de informe de inspección de control de calidad.
- Obtener muestras de control de calidad del material en el lugar de colocación sobre el terreno utilizando ubicaciones aleatorias determinadas durante la fase previa a la colocación.
- Etiquetar todas las muestras de control de calidad con la información requerida (por ejemplo, lote, sublote, fecha, etc.) y almacenarlas de forma ordenada durante el tiempo especificado por la agencia en las especificaciones de control de calidad y tal y como se describe en el plan de control de calidad.
- Realizar las pruebas de control de calidad requeridas con la frecuencia indicada en el plan de control de calidad.
- Realizar cualquier muestreo selectivo adicional cuando sea necesario para verificar las propiedades del material o para medir la influencia de la colocación/instalación en el material.
- Realizar cualquier nuevo muestreo o nueva prueba que sea necesario de acuerdo con el Plan de Control de Calidad.

- Prepare y firme los formularios estándar de informe de pruebas de control de calidad.

- Comparar los resultados de las pruebas de control de calidad realizadas en el material con cualquier especificación y/o límite técnico indicado en las especificaciones de garantía de calidad y el plan de control de calidad de la agencia.

- Trazar los resultados de las pruebas de control de calidad en gráficos de control y utilizar estos gráficos como herramienta analítica para evaluar el grado de control sobre el proceso de colocación/instalación.

- Cuando los resultados sean inaceptables en términos de cualquier límite o cuando los gráficos de control indiquen tendencias que puedan afectar negativamente a la calidad del producto, investigar inmediatamente las causas del problema.

- Proporcione comentarios periódicos al personal de producción (tanto en el campo como en las instalaciones de producción) basándose en los resultados de las inspecciones y pruebas de control de calidad.

- Aísle cualquier trabajo con defectos visibles como resultado de una calidad de material inaceptable o una mano de obra inaceptable.

- Asegúrese de suspender la colocación en campo de materiales no conformes.

- Comunicarse con los técnicos de control de calidad de las instalaciones de producción para transmitir la información de las pruebas relativas al producto y/o a la instalación adecuada del mismo.

- Comunicar al personal de la agencia los resultados de las pruebas de acuerdo con las directrices de las especificaciones de garantía de calidad y el plan de control de calidad.

- Someterse a auditorías de las actividades de control de calidad realizadas por el personal de control de calidad de otros contratistas o por el personal de la agencia.

- Cuando se descubra una causa atribuible a la calidad inferior del producto como resultado de la manipulación y colocación/instalación en el campo, corrija la situación y documente todas las correcciones en el ***diario de control de calidad de campo***.

Actividades de control de calidad posteriores a la colocación

- Coloque todos los formularios de informe de inspección y los formularios de informe de prueba completados en ***el libro de registro de control de calidad***.
- Asegúrese de que toda la información (números aleatorios, ubicaciones de las muestras, resultados de las pruebas, observaciones visuales, etc.) se haya registrado en los formularios de informe de inspección y los formularios de informe de pruebas correspondientes.
- Actualice los registros resumidos de colocación en campo según lo requiera la agencia.
- Rellene las certificaciones necesarias en función de los resultados de las pruebas de control de calidad de campo.
- Limpie todo el equipo utilizado antes de abandonar el lugar de trabajo.
- Realice cualquier trabajo preparatorio para el siguiente día de inspección de campo.

5.9 - Registros de control de calidad

Como se ha comentado anteriormente, todas las actividades de control de calidad del contratista (es decir, inspección, muestreo y pruebas) realizadas tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno deben documentarse adecuadamente. Esta documentación no puede considerarse un mero trámite burocrático, sino una herramienta de control de calidad necesaria. La información documentada proporciona datos valiosos para controlar cada proceso de producción o colocación y para mejorar estos procesos con el tiempo. Por consiguiente, un ***sistema de registros de control de calidad*** bien diseñado y mantenido adecuadamente es una parte importante del sistema de control de calidad de cada contratista.

El objetivo principal de un sistema de registros de control de calidad es proporcionar un proceso racional para organizar, evaluar, almacenar y recuperar toda la documentación de control de calidad. La organización del sistema de registros de control de calidad debe facilitar la revisión inmediata, a nivel ejecutivo, de la información pertinente, como los resultados de un análisis diario del nivel de calidad o un resumen de todos los muestreos y pruebas de control de calidad para las características de calidad requeridas. También debe permitir la recopilación y el almacenamiento de los documentos que registran los resultados de las pruebas de control de calidad individuales (por ejemplo, los resultados de las pruebas de control de calidad para las gradaciones realizadas en una planta de producción de PCC) y la inspección, formando así un historial completo de las actividades de control de calidad. El análisis posterior (por ejemplo, mediante gráficos de control) de dicho historial puede ser una herramienta muy valiosa para mejorar los procesos de producción y colocación en el futuro, lo que limitará el incumplimiento en el futuro, mejorará la calidad general y aumentará la rentabilidad.

La mayoría de las agencias exigen que los registros de control de calidad se mantengan de acuerdo con las directrices básicas proporcionadas en las especificaciones de garantía de calidad. Sin embargo, esto no debe desalentar a los contratistas a innovar en la forma de recopilar, almacenar, analizar o presentar la información de control de calidad, siempre y cuando se cumplan los requisitos mínimos de la agencia. A largo plazo, los registros organizados y precisos son más importantes para el contratista en términos de «lo que le dicen sobre su proceso» que el efecto inmediato de simplemente «cumplir con los requisitos». A continuación se describen los componentes clave típicos de un sistema de registros de control de calidad.

Diario diario de control de calidad

El responsable de control de calidad de cada instalación de producción u operación de colocación sobre el terreno debe llevar un ***diario diario de control de calidad*** (diario diario de control de calidad). El diario diario de control de calidad debe utilizarse para documentar todas las actividades o acciones importantes relacionadas con el sistema de control de calidad que se producen cada día. Su función es similar a la de un diario de proyecto que normalmente debe llevar el director del proyecto o el ingeniero residente en los proyectos de construcción de transporte. El diario diario no pretende replicar ni sustituir los formularios de informe de inspección o los formularios de informe de pruebas individuales, sino que sirve como registro resumido de las acciones clave realizadas por el personal de control de calidad.

El tipo de información que se suele registrar en el diario diario de control de calidad incluye:

- Las condiciones meteorológicas o ambientales del día.
- Resumen de las actividades de producción o colocación completadas.
- Cualquier problema de calidad identificado por el personal de producción o el personal de control de calidad.
- Cualquier medida correctiva recomendada o adoptada por el personal de control de calidad.
- Conversaciones mantenidas con el personal de producción, el personal de control de calidad de otros contratistas o el personal de la agencia.
- Visitantes a las instalaciones de producción o a las operaciones de colocación sobre el terreno.

Libro de registro de control de calidad

Cada parte contratista (es decir, el contratista principal, el subcontratista, el productor, el fabricante o el fabricante) debe llevar un ***libro de registro de control de calidad*** (libro de registro de control de calidad) para los principales elementos de trabajo que producen o colocan. La función del libro de registro de control de calidad es almacenar todos los documentos formales de control de calidad utilizados o preparados por el personal de control de calidad para una operación específica de producción o colocación. El mantenimiento del libro de registro de control de calidad es responsabilidad del director de control de calidad de cada contratista, con la ayuda de otro personal de control de calidad.

El contratista debe mantener un registro completo de todas las muestras, pruebas, inspecciones y actividades relacionadas con el control de calidad. Aunque hoy en día se hace un mayor uso de los ordenadores para registrar dicha información, un sistema completamente sin papel no suele ser posible ni práctico. Por consiguiente, la mayoría de agencias exigen que los registros impresos (originales o copias) de todos los documentos de control de calidad se mantengan en un formato de libro protegido, normalmente utilizando una carpeta de tres anillas o varias carpetas.

Cada libro de registros de control de calidad debe contener los siguientes documentos:

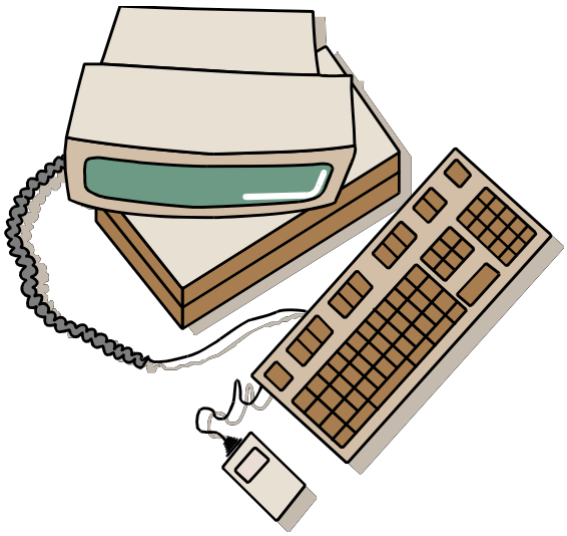
- Copia firmada del plan de control de calidad aprobado actualmente.
- Copias originales firmadas de todos los formularios de informe de inspección estándar completados.
- Copias originales firmadas de todas las listas de verificación previas a la fase completadas.
- Copias originales firmadas de todos los formularios de ubicación de muestreo aleatorio completados.
- Copias originales firmadas de todos los formularios de informe de pruebas estándar completados.
- Copia actualizada o impresión de todos los gráficos de control generados.
- Copia actualizada o impresión de todos los análisis de nivel de calidad realizados.
- Resúmenes actuales de todos los resultados de pruebas de control de calidad individuales hasta la fecha (por lote y sublote).
- Hojas resumen de las cantidades de material producidas o colocadas (por lote y sublote).

Cada parte contratista (es decir, contratista principal, subcontratista, productor, fabricante) que participe en un proyecto de construcción determinado debe conservar las copias originales de sus documentos de control de calidad en su propio libro de registro de control de calidad. Sin embargo, los libros de registro de control de calidad que mantiene el contratista principal también deben incluir copias de la documentación de control de calidad preparada por otras partes contratistas, incluidas las de todas las operaciones de producción fuera de la obra, así como las de todas las operaciones de colocación en la obra. El objetivo es garantizar que el responsable de control de calidad del contratista principal (administrador del plan de control de calidad) conozca perfectamente el estado de todas las operaciones de control de calidad y la calidad correspondiente de todos los materiales producidos y colocados para el proyecto.

El libro de registro de control de calidad de cada operación de producción fuera de la obra (por ejemplo, productor de HMA o PCC, fabricante de hormigón pretensado, fabricante de barras de refuerzo de acero) debe conservarse en el lugar de producción. Las partes contratistas que participan en las operaciones de colocación in situ (es decir, el contratista principal y los subcontratistas) deben mantener sus libros de registro de control de calidad en el emplazamiento del proyecto. Cada libro de registro de control de calidad debe conservarse en un lugar fácilmente accesible para que todo el personal de control de calidad pueda consultarlo o para que el personal de aceptación de la agencia pueda revisarlo.

Todos los documentos de control de calidad requeridos deben colocarse en el libro de registros de control de calidad de manera oportuna. Esto es para garantizar que los registros estén disponibles en tiempo real para que el personal de control de calidad del contratista los utilice en la supervisión de sus procesos de producción o colocación. Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden especificar un período máximo de tiempo para completar los documentos de control de calidad e introducirlos en el libro de registros. Como norma general, se recomienda que el personal de control de calidad se asegure de que todos los registros de control de calidad requeridos (originales o copias) se coloquen en el libro de registros de control de calidad en un plazo de 24 a 48 horas después de su finalización.

Base de datos de control de calidad del contratista



Un sistema completo de registros de control de calidad debe permitir un fácil acceso a los datos de control de calidad por parte del personal de control de calidad del contratista principal, así como del personal de control de calidad de otras partes contratistas. También debe permitir el acceso del personal de la agencia, según sea necesario, con fines de auditoría o revisión.
Las bases de datos informáticas son herramientas útiles para el almacenamiento, análisis y recuperación de datos de muestreo, pruebas e inspección de control de calidad. Pueden diseñarse para generar gráficos de control, evaluar los niveles de calidad de la producción o la colocación (por ejemplo, análisis del nivel de calidad)
y proporcionar resúmenes de los resultados de las pruebas de control de calidad hasta la fecha. En consecuencia, muchos contratistas han optado por utilizar una ***base de datos de control de calidad*** (base de datos QC).

Una base de datos de control de calidad puede desarrollarse utilizando un software de base de datos estándar o puede personalizarse para satisfacer las necesidades individuales de cada contratista. Las bases de datos de control de calidad deben diseñarse para adaptarse al sistema de control de calidad individual del contratista. Sin embargo, su diseño también debe permitir el intercambio de datos entre el contratista, otras partes contratantes y la agencia. Dadas estas necesidades paralelas, suele ser ventajoso adoptar una base de datos de control de calidad que utilice una plataforma de software común tanto para los contratistas como para la agencia. Por lo tanto, las agencias pueden exigir o recomendar a los contratistas que utilicen un software de base de datos específico.

La seguridad de los datos es obviamente importante para proteger los datos originales una vez introducidos en la base de datos de control de calidad. Se puede proporcionar acceso a la base de datos de control de calidad a terceros (otros contratistas o personal de la agencia) en modo de solo lectura o con restricciones similares. O, en lugar de proporcionar acceso directo a la base de datos de control de calidad, el contratista puede compartir archivos que contengan datos de control de calidad. El intercambio de datos puede realizarse a través de una red de área local (LAN), un sistema de intranet o una conexión a Internet.

Presentación de registros de control de calidad a la agencia

Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia pueden exigir que el contratista envíe periódicamente copias de algunos o todos los registros de control de calidad a la agencia. Como mínimo, normalmente se exige el envío de los resultados de las pruebas y muestreos de control de calidad, especialmente si la agencia permite que los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista se incluyan en la determinación de aceptación.

Aunque las especificaciones de control de calidad no lo exijan específicamente, se recomienda a los contratistas que compartan periódicamente con la agencia copias de los resultados de sus muestreos, pruebas e inspecciones de control de calidad. Esto ayuda a garantizar que el personal de la agencia esté al tanto del estado de los resultados del control de calidad, ya sean positivos o negativos. La presentación oportuna de los registros de control de calidad a la agencia mejorará la comunicación y puede ayudar a evitar posibles puntos de conflicto o disputa. Como regla general, se recomienda que los registros de control de calidad, en particular los formularios de informes de pruebas de control de calidad y los formularios de informes de inspección, se presenten al personal competente de la agencia en el plazo de un día hábil después de que se haya completado la actividad de control de calidad y la documentación correspondiente.

Certificación y conservación de los registros de control de calidad

Algunas agencias exigen que algunos o todos los documentos contenidos en el sistema de registros de control de calidad del contratista incluyan una declaración de certificación que acredite la validez de la información contenida en el documento. Dichas declaraciones de certificación, cuando son necesarias, suelen ser preparadas por el responsable de control de calidad u otro personal autorizado (es decir, técnicos de control de calidad, inspectores de control de calidad). A continuación, se ofrece un ejemplo del tipo de declaración de certificación que puede ser necesaria:

> *«Por la presente se certifica que la información contenida en este registro es precisa y que todo el trabajo documentado en él cumple con los requisitos del contrato. Cualquier excepción a esta certificación se documenta como parte de este registro*».

Además de la certificación de los registros de control de calidad, las agencias suelen tener requisitos mínimos para la conservación de dichos registros. Por ejemplo, en los proyectos de construcción de carreteras financiados con ayuda federal, los registros originales que cubren el muestreo, las pruebas y la inspección de los materiales deben conservarse durante un período mínimo de tres años. Cada agencia estatal también puede tener requisitos adicionales para la conservación de registros.

Notificación de actividades fraudulentas

El personal de control de calidad del contratista (así como cualquier otro personal del contratista) tiene la responsabilidad de garantizar que todas las actividades relacionadas con los registros del contratista se lleven a cabo correctamente. Existen sanciones penales federales y estatales asociadas a las actividades fraudulentas en los proyectos de construcción de carreteras de las agencias estatales. Estas actividades incluyen, entre otras, la falsificación de datos, la falsificación de certificaciones, el soborno, las comisiones ilegales y las gratificaciones.

Si se sospecha de actividades fraudulentas en proyectos con ayuda federal, deben denunciarse a la Oficina del Inspector General en el 1-800-424-9071 o por correo electrónico:hotline@oig.dot.gov . Además, estas actividades también deben denunciarse a la autoridad estatal correspondiente.

- FIN DEL CAPÍTULO 5 -

CAPÍTULO 6

Funciones y responsabilidades de aceptación de la agencia

Capítulo 6

Funciones y responsabilidades de la agencia de aceptación

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan las siguientes responsabilidades y actividades necesarias para la aceptación:

6.1 - Descripción general de la función de aceptación y responsabilidades de la organización de aceptación

6.2 - Requisitos e es de la organización de aceptación

6.3 - Revisión del plan de control de calidad y aprobación de la organización

6.4 - Supervisión de la actividad de control de calidad del contratista

6.5 - Actividades e es de la inspección de aceptación

6.6 - Requisitos de muestreo y pruebas de aceptación

6.7 - Actividades de aceptación en las instalaciones de producción de la cadena de suministro ( )

6.8 - Actividades de aceptación en el campo e

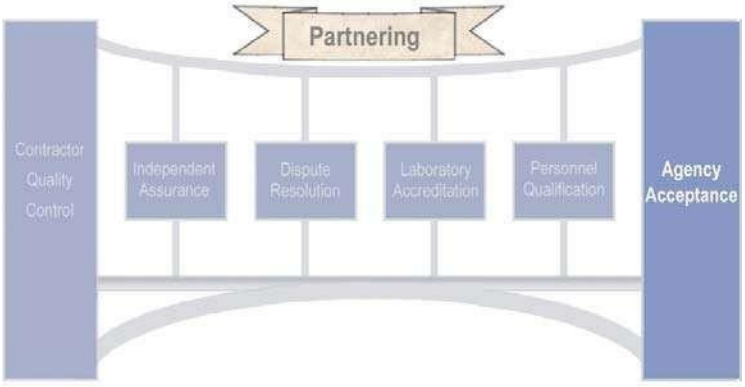
6.9 - Aceptación del trabajo completado

6.10 - Determinación del pago del contratista

6.11 - Registros de aceptación

6.1 - Descripción general de la función y las responsabilidades de aceptación

Responsabilidad de la aceptación



Como se presenta en el capítulo 2, la aceptación es la segunda de las dos torres que componen los seis elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad. La garantía de calidad atribuye la responsabilidad de la aceptación íntegramente a la ***agencia***. El término «agencia» se refiere a cualquier entidad gubernamental que contrata habitualmente a contratistas (es decir, contratistas principales) para la construcción de proyectos de transporte. Según la definición que figura en la *Guía de especificaciones para la construcción de carreteras de la AASHTO* (1998), una agencia se define aquí de la siguiente manera:

> **Agencia**: «Cualquier organización, constituida en virtud de leyes federales, estatales o municipales, que se encargue de administrar contratos para la construcción de carreteras o medios de transporte».

Como parte de la administración de cada proyecto de construcción de transporte, la agencia es responsable de la aceptación del trabajo completado. Las agencias que suelen participar en la contratación y aceptación de trabajos en proyectos de construcción de transporte incluyen:

- Agencias federales (por ejemplo, FAA, FHWA)
- Agencias estatales (por ejemplo, el Departamento de Transporte del Estado, la Autoridad de Autopistas, la Autoridad de Aviación)
- Agencias locales (por ejemplo, condado, ciudad, pueblo)

Históricamente, la aceptación de todos los materiales producidos y colocados en un proyecto de construcción de transporte ha sido responsabilidad de la agencia. En el marco de un programa de garantía de calidad y con el uso de especificaciones de garantía de calidad, esta función principal sigue

En consecuencia, todas las actividades de aceptación (es decir, muestreo, pruebas e inspección de aceptación) deben ser realizadas por la agencia, independientemente de las actividades de control de calidad del contratista.

Para reiterar lo que se explicó brevemente en el capítulo 2 (sección 2.3), uno de los principios fundamentales del aseguramiento de la calidad es la separación clara de la responsabilidad del control de calidad por parte del contratista de la responsabilidad de la aceptación por parte de la agencia. En resumen, el sistema de aceptación de la agencia no debe permitir que los contratistas realicen ninguna función de aceptación (es decir, muestreo, pruebas e inspección de aceptación). Sin embargo, como se explica más adelante (sección 6.6), el personal del contratista puede ayudar a la agencia en el muestreo de aceptación (por ejemplo, se permite al contratista operar la plataforma de perforación para obtener muestras).

Como se explica más adelante en este capítulo, la agencia puede permitir que los datos de control de calidad validados del contratista se incluyan en su determinación final de aceptación. Sin embargo, la responsabilidad general de realizar el muestreo, las pruebas y la inspección de aceptación, así como de evaluar esta información para determinar la aceptabilidad de todo el material producido y colocado, recae en la agencia.

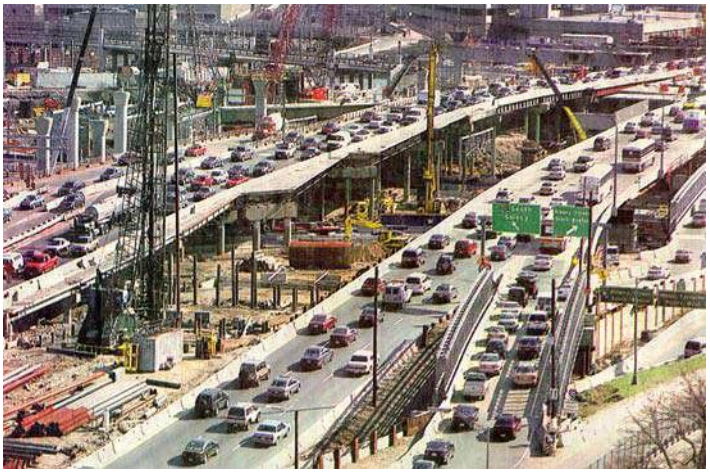
Las actividades de aceptación (es decir, el muestreo, las pruebas y la inspección de aceptación) pueden ser realizadas por:

- Personal cualificado de la agencia, o
- Personal cualificado de un ***agente designado*** (es decir, un consultor).

Según este último enfoque, el agente designado debe contratar los servicios de aceptación directamente con la agencia. Sin embargo, el uso de un agente designado no elimina la necesidad de que la agencia participe en el sistema de aceptación. Como mínimo, la agencia debe contar con personal propio responsable de dirigir las actividades del agente designado y de realizar las interpretaciones finales de toda la información de aceptación

y las decisiones correspondientes sobre la aceptabilidad de todos los materiales producidos y colocados por el contratista. Por lo tanto, el término «organismo» se utiliza en todo este manual para referirse tanto a un organismo de transporte como al organismo y su agente designado.

Con el control de calidad, la responsabilidad de la aceptación por parte de la agencia (o su agente designado) es aplicable independientemente del ***método de contratación*** utilizado para la construcción del proyecto. El método tradicional de contratación de la mayoría de las agencias se denomina ***«diseño-licitación-construcción***». Según este enfoque, la agencia prepara los planos completos, las especificaciones y un paquete de estimaciones (*diseño*), y luego anuncia y adjudica el contrato de construcción al contratista responsable que haya presentado la oferta más baja (*licitación*). Posteriormente, el contratista construye el proyecto según los planos y especificaciones de la agencia (*construcción*).



En los últimos años, ha surgido otro método de contratación en la construcción de infraestructuras de transporte, especialmente en proyectos muy grandes o complejos, denominado ***«diseño-construcción***». En el enfoque de diseño-construcción, la agencia prepara un paquete de ingeniería preliminar (generalmente de un nivel del 20 al 30 %) que establece criterios específicos para completar el diseño y la construcción del proyecto y solicita propuestas a los contratistas interesados. En lugar de utilizar el enfoque tradicional de la oferta más baja, la base para la selección de un contratista en el marco del método de diseño y construcción suele ser una combinación de: 1) el cumplimiento de los criterios de la propuesta; 2) el plazo del proyecto; y 3) el coste del proyecto. En el marco del método de contratación de diseño y construcción, la responsabilidad de la aceptación sigue recayendo en el organismo. La agencia puede contratar a un agente designado para que realice algunas o todas las actividades de aceptación, como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, en ningún caso se debe asignar al contratista la responsabilidad de las actividades de aceptación (es decir, el muestreo, las pruebas, la inspección y la determinación final de la aceptabilidad del producto).

Función de Aceptación

El papel de la agencia en la realización de las actividades de aceptación es claramente diferente del control de calidad. En el marco de un programa de garantía de calidad que funcione correctamente, la agencia no puede ni debe intentar controlar los procesos de producción y colocación del contratista. Como se explica en el capítulo 5, la función de control de calidad es responsabilidad del contratista. El objetivo general del control de calidad del contratista es garantizar que cada proceso de fabricación, producción o colocación produzca de forma sistemática un producto que cumpla los requisitos de las especificaciones. Por lo tanto, los contratistas deben controlar sus procesos de producción y colocación para alcanzar la calidad especificada. La agencia debe respetar la responsabilidad del contratista en la realización del control de calidad. Esto no significa que la agencia deba «hacer la vista gorda» ante las actividades de control de calidad del contratista. La agencia debe evaluar periódicamente las actividades de control de calidad del contratista para asegurarse de que se están llevando a cabo según lo establecido en el plan de control de calidad aprobado.

Por lo tanto, la función de aceptación no se centra en dirigir los métodos (es decir, los procesos) utilizados para lograr el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones (es decir, la calidad). Más bien, los objetivos principales del sistema de aceptación de la agencia son los siguientes:

(1) Medir la calidad de todos los materiales producidos y colocados por el contratista.

(2) Determinar el pago correspondiente que debe recibir el contratista.

El primer objetivo de la aceptación (medición de la calidad) se logra mediante tres (3) actividades generales de aceptación:

- Supervisar la adecuación de la actividad de control de calidad del contratista.
- Realizar inspecciones de aceptación para identificar trabajos con deficiencias visuales.
- Realizar muestreos y pruebas de aceptación para las características clave de calidad.

A través de sus actividades de aceptación, la agencia obtiene información para confirmar que todos los productos fabricados y comercializados cumplen con el nivel de calidad especificado. Por consiguiente, cada una de estas actividades de aceptación debe ser realizada por la agencia independientemente de las actividades de control de calidad del contratista.

El segundo objetivo de aceptación (determinar el pago al contratista) se lleva a cabo utilizando la información obtenida a través de las tres actividades de aceptación de la agencia descritas anteriormente (es decir, supervisión del control de calidad del contratista, inspección de aceptación y muestreo y pruebas de aceptación).

Como se explica en el capítulo 2, los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista pueden utilizarse para complementar la información de las pruebas de aceptación de la agencia, siempre que los resultados del control de calidad procedan de muestras aleatorias validadas por la agencia. La determinación de la remuneración del contratista se basa normalmente en el nivel de calidad calculado utilizando únicamente los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia o incluyendo los resultados validados de las pruebas de control de calidad del contratista (este último enfoque seguirá una de las tres opciones que se explican más adelante en la sección 6.9).

Sin embargo, la determinación de la aceptación y la remuneración correspondiente por parte de la agencia no se basa únicamente en los resultados de las pruebas. La calidad de la mano de obra de todos los trabajos completados también se evalúa a través de la actividad de inspección de aceptación de la agencia. Si se detectan defectos visibles

en el producto instalado, normalmente se exige al contratista que tome medidas correctivas (que pueden incluir la retirada), o bien la agencia puede evaluar un ajuste (es decir, una reducción) del pago al contratista.

La remuneración del contratista también puede ajustarse en función de la idoneidad de sus actividades de control de calidad. Si se comprueba que el contratista no está llevando a cabo un control de calidad eficaz según el plan de control de calidad aprobado, la agencia deberá comunicárselo al contratista de manera oportuna. En caso de que el contratista no responda a dicha comunicación, la agencia se reserva el derecho de exigir las medidas correctivas oportunas y/o retener el pago de la parte del trabajo afectada.

Las actividades de aceptación de la agencia deben realizarse de forma continua y oportuna a lo largo de cada etapa de producción y colocación. No deben realizarse una vez finalizado todo el trabajo del proyecto. El objetivo es garantizar que se dispone de datos suficientes para confirmar que se cumple la calidad especificada y evitar posibles disputas con el contratista.

La agencia debe utilizar los resultados de sus actividades de aceptación (es decir, la supervisión del control de calidad del contratista, la inspección de aceptación y el muestreo y las pruebas de aceptación) para proporcionar comentarios al contratista. Sin embargo, el contratista no debe basarse en esta información para controlar los procesos, sino que debe utilizarla como información para evaluar la eficacia del sistema de control de calidad.

Un sistema de aceptación eficaz requiere todas las actividades descritas anteriormente. También requiere una organización de aceptación adecuada y el mantenimiento de registros adecuados. Cada una de estas funciones de aceptación se analiza con más detalle a lo largo de este capítulo.

6.2 - Requisitos de la organización de aceptación

Estructura Organizativa Óptima de la Agencia

El sistema de aceptación debe funcionar como un esfuerzo compartido por diferentes miembros del personal de la agencia. Si bien los títulos específicos de las unidades organizativas y del personal que desempeña la función de aceptación variarán de una agencia a otra, los tipos de personal de aceptación en cada agencia son generalmente similares.

La mayoría de las agencias suelen estar estructuradas para incluir una función ***de construcción*** y una función ***de materiales.***

En algunas agencias, las tareas relacionadas con los materiales son gestionadas por una unidad independiente dirigida por un gerente/ingeniero de materiales, mientras que las tareas relacionadas con la construcción son gestionadas por otra unidad dirigida por un gerente/ingeniero de construcción. En otras agencias, la función de materiales está integrada en la unidad de construcción. Las funciones generales de construcción y materiales suelen administradas desde la oficina central de la agencia. Además, muchas agencias se organizan en oficinas de distrito o regionales que incluyen unidades de construcción y materiales.

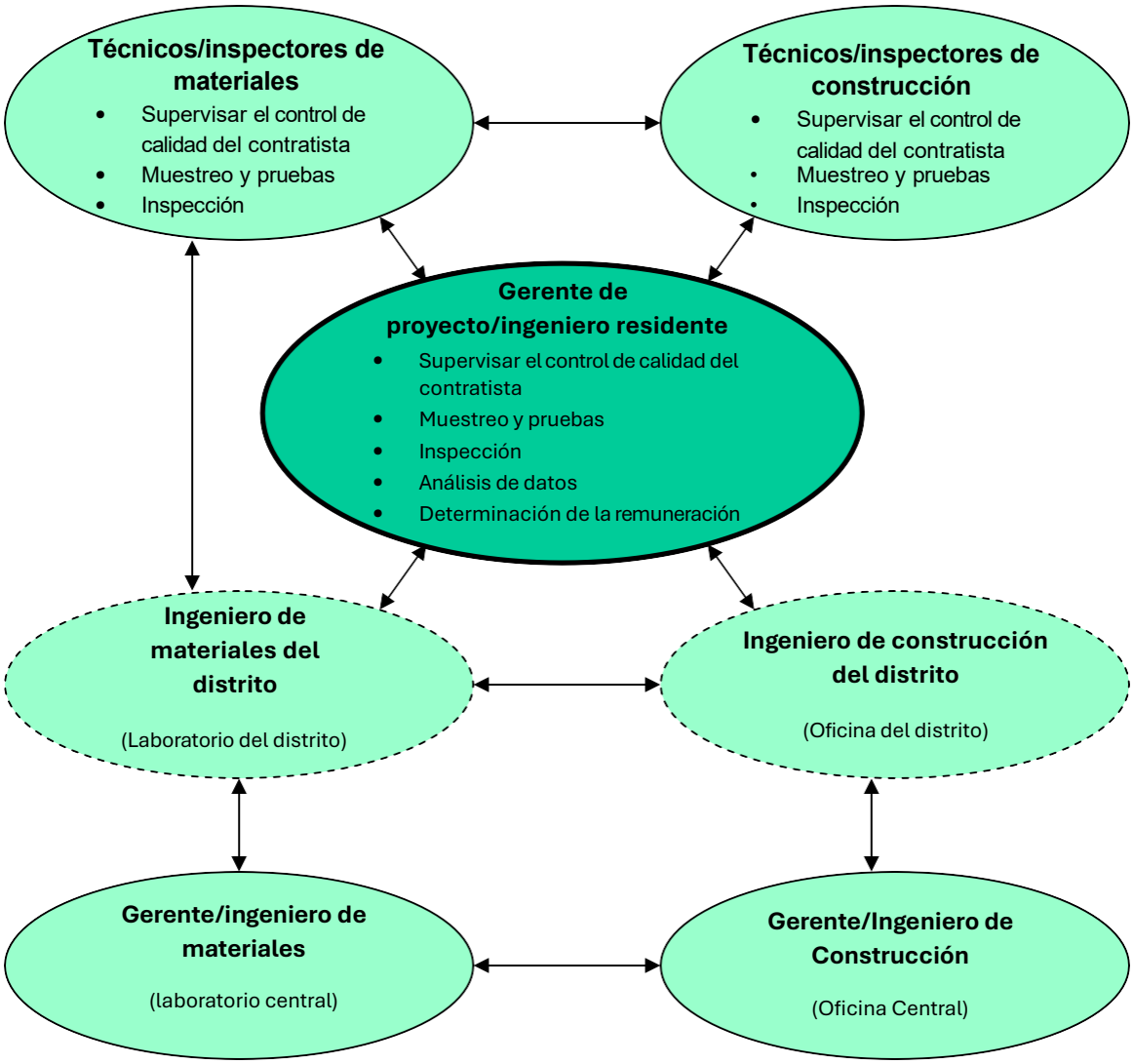
Independientemente de cómo esté estructurada una agencia, una estructura organizativa eficaz para la aceptación requiere un enfoque ***de equipo de aceptación*** que incluya tanto al personal de construcción (es decir, el director del proyecto/ingeniero residente, los inspectores de campo) como al personal de materiales (es decir, el ingeniero de materiales, los técnicos de laboratorio, los técnicos/inspectores de las instalaciones de producción y los técnicos/inspectores de campo). Si bien la responsabilidad general de

administración de los contratos de construcción suele recaer en el personal de construcción, la aceptación de todos los materiales producidos y colocados debe ser una responsabilidad compartida entre el personal de construcción y el personal de materiales.

En algunas agencias puede existir la opinión de que, en el marco del control de calidad, la aceptación se limita simplemente al muestreo y las pruebas y, por lo tanto, es algo que compete al personal de materiales. Como se ha explicado anteriormente, el alcance completo de las actividades de aceptación incluye: supervisar el control de calidad del contratista, la inspección (en las instalaciones de producción y sobre el terreno), el muestreo y las pruebas (en las instalaciones de producción y sobre el terreno) y determinar el pago al contratista. Esto requiere un trabajo en equipo entre el personal de construcción y el personal de materiales.

El equipo de aceptación debe comenzar con el personal de aceptación de primera línea del proyecto (es decir, inspectores de construcción y técnicos/inspectores de materiales) bajo la dirección del director del proyecto/ingeniero residente. Periódicamente, el director del proyecto/ingeniero residente puede necesitar consultar con personal de mayor rango en la estructura organizativa de la agencia, tanto en la unidad de construcción (por ejemplo, ingeniero de construcción de área, ingeniero de construcción de distrito, director/ingeniero de construcción de la agencia) como en la unidad de materiales (por ejemplo, ingeniero de materiales de distrito, director/ingeniero de materiales de la agencia). Algunas muestras y pruebas de aceptación pueden ser realizadas por personal de la agencia que no depende directamente del director del proyecto/ingeniero residente (por ejemplo, técnicos/inspectores de materiales). Sin embargo, en última instancia, toda la recopilación de datos de aceptación (es decir, muestreo, pruebas, inspección), todo *el análisis de datos y la determinación de la calidad del producto y el pago correspondiente al contratista* en un proyecto individual deben coordinarse a través del director del proyecto/ingeniero residente o realizarse por él (o bajo su dirección).

El siguiente gráfico ilustra esta estructura operativa óptima de la agencia para proporcionar un sistema de aceptación eficaz.



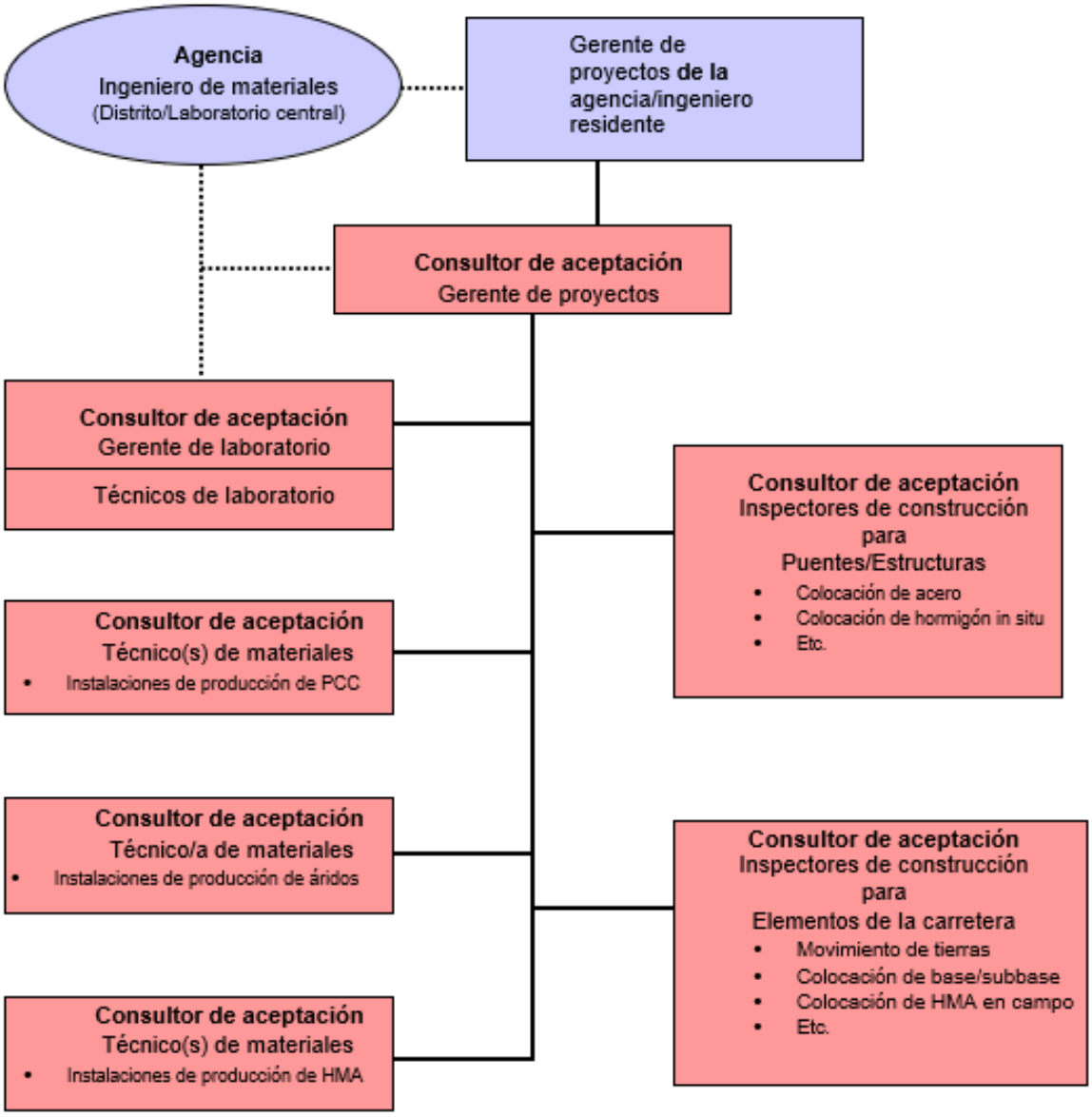
(Estructura operativa óptima de la agencia para una aceptación eficaz)

Organización de Aceptación de Proyectos de Transporte

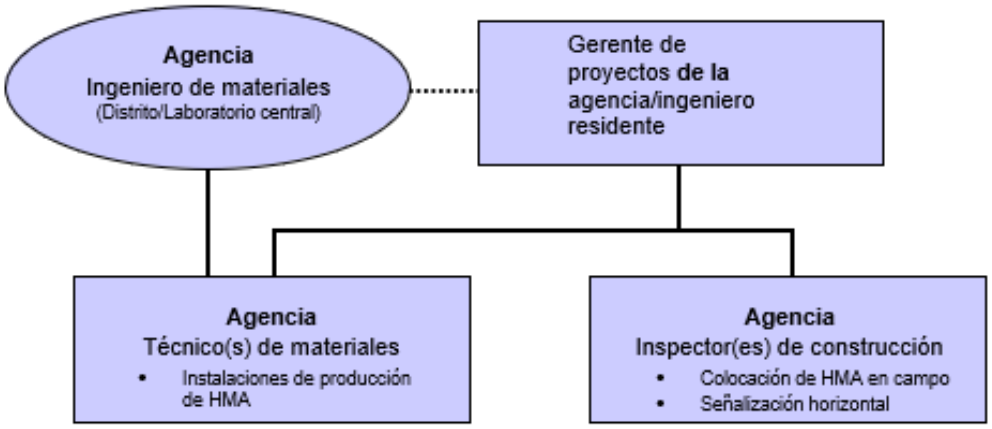
No existe una estructura organizativa de aceptación única que pueda aplicarse a todos los proyectos de construcción de transporte. La organización del equipo de aceptación de la agencia variará en función del tamaño y la complejidad del proyecto de construcción y de las operaciones individuales que lo componen. El hecho de que el contratista esté obligado a disponer de un sistema de control de calidad y de personal de control de calidad suficiente no exime a la agencia de proporcionar un número adecuado de personal de aceptación.

Como se ha comentado anteriormente en este capítulo (sección 6.1), las actividades de aceptación pueden ser realizadas por personal cualificado de la agencia en materia de construcción y materiales o por personal cualificado de un agente designado (es decir, un consultor). Algunas agencias optan por utilizar personal consultor para realizar algunas de las actividades de aceptación (por ejemplo, inspección, muestreo y pruebas) en la mayoría o en todos los proyectos de construcción de forma regular. Otras agencias pueden optar por utilizar personal consultor solo en proyectos muy grandes o complejos, como los de diseño y construcción, para aumentar su personal de construcción y materiales. Independientemente del tipo de proyecto en el que se utilice personal consultor, se debe asignar al menos un representante de la agencia (por ejemplo, el director del proyecto o el ingeniero residente) para representar a la agencia ante el contratista y proporcionar orientación al personal consultor. Como se ha indicado anteriormente, el personal de la agencia debe realizar en última instancia las interpretaciones finales de toda la información de aceptación y las decisiones correspondientes sobre la aceptabilidad de todos los materiales producidos y colocados por el contratista.

A continuación, se presentan ejemplos de un equipo de aceptación de la agencia para dos tipos diferentes de proyectos de transporte. El primer ejemplo muestra un equipo de aceptación para un gran proyecto de construcción de autopistas en el que se utiliza personal consultor bajo la dirección de un representante de la agencia. El segundo ejemplo muestra un equipo de aceptación para un proyecto de repavimentación con HMA compuesto por personal de construcción y personal de materiales de la agencia.



(Equipo de aceptación de la agencia para proyectos de construcción de autopistas importantes)



(Equipo de aceptación de la agencia para el proyecto de repavimentación con HMA)

Para cada proyecto de construcción de transporte, independientemente de su tamaño y enfoque de dotación de personal, se recomienda que la agencia identifique por escrito a todo el personal que compone el equipo de aceptación del proyecto. Esto debe hacerse mediante una simple lista o tabla, denominada en el presente documento ***«Organización del equipo de aceptación del proyecto***». También se pueden utilizar organigramas formales, similares a los ejemplos anteriores, para proporcionar un resumen gráfico del personal del equipo de aceptación. Independientemente del formato que se utilice, el documento de organización del equipo de aceptación del proyecto debe incluir todos los nombres y la información relevante (por ejemplo, cualificaciones/certificaciones, números de teléfono/fax, correo electrónico, etc.) de cada puesto del equipo de aceptación.

La Organización del equipo de aceptación del proyecto está pensada para servir como herramienta para comunicar la asignación de responsabilidades específicas de aceptación a todos los miembros del equipo de aceptación. Debe compartirse con el personal del contratista (tanto el personal de control de calidad como el de producción) al inicio de un proyecto para fomentar líneas de comunicación claras entre la agencia y el contratista. También debe actualizarse oportunamente para reflejar los cambios de personal que puedan producirse en el equipo de aceptación.

Requisitos de Personal de Aceptación

Como se ha mencionado anteriormente, la agencia debe proporcionar un equipo de aceptación adecuado compuesto por personal de construcción y personal de materiales de la agencia para cada proyecto de construcción. Se puede utilizar personal proporcionado por un agente designado (consultor) en lugar del personal de la agencia. personal para realizar algunas de las actividades de aceptación. Independientemente del enfoque del equipo de aceptación, es esencial que se cuente con personal suficiente para realizar todas las actividades de aceptación necesarias para un proyecto determinado. Además, todo el personal de aceptación debe estar debidamente cualificado o certificado para desempeñar sus funciones.

Cada equipo de aceptación de un proyecto incluirá normalmente los siguientes tipos de personal de aceptación:

- Gerente de proyecto o ingeniero residente
- Técnicos/inspectores de aceptación de las instalaciones de producción
- Personal del laboratorio de aceptación
- Técnicos/inspectores de aceptación de campo

A continuación, se describen brevemente las responsabilidades y las cualificaciones mínimas que se suelen exigir a cada uno de los miembros del equipo de aceptación.

Gerente de Proyecto o Ingeniero Residente

Como se ha mencionado anteriormente, el equipo de aceptación de la agencia para cada proyecto de construcción de transporte está dirigido por personal de construcción, normalmente denominado ***«director del proyecto***» o ***«ingeniero residente***». El director del proyecto/ingeniero residente (PM/RE) tiene la responsabilidad general de gestionar todas las actividades de aceptación del proyecto y, por lo tanto, debe conocer a fondo todos los requisitos del sistema de aceptación de la agencia. Históricamente, el PM/RE de la agencia ha desempeñado esencialmente la función de contraparte del director del proyecto del contratista, centrándose principalmente en las actividades de administración del contrato (es decir, revisión de las presentaciones del contratista, medición y pago del trabajo completado, supervisión del tiempo del contrato, etc.). En el marco de un programa de garantía de calidad y con proyectos que utilizan especificaciones de garantía de calidad, esta función se equilibra idealmente con un enfoque igual por parte del PM/RE en:

- Supervisar las actividades de control de calidad del contratista, y
- Dirigir las actividades de aceptación de la agencia (es decir, muestreo, pruebas, inspección).

Esto requiere una relación de trabajo activa entre el PM/RE y el director de control de calidad del contratista. También requiere la coordinación con el personal de la unidad de materiales de la agencia (es decir, ingenieros de materiales, técnicos de laboratorio, técnicos/inspectores de las instalaciones de producción, técnicos/inspectores de campo) que participan en la realización de algunas de las actividades de aceptación. Si bien el PM/RE debe seguir gestionando las actividades de administración de contratos, es extremadamente importante que también asuma la responsabilidad principal de coordinar todas las actividades de aceptación del proyecto actividades de aceptación del proyecto. Esto no es posible si el PM/RE da por sentado que otro personal de la agencia (como el personal de materiales) se encargará de «gestionar» estas actividades.

Las principales funciones de aceptación de cada director de proyecto/ingeniero residente incluyen:

- Coordinar la revisión y aprobación de los planes de control de calidad del contratista.
- Identificar todas las actividades de aceptación necesarias para el proyecto.
- Gestionar la recopilación de datos de aceptación (es decir, muestreo, pruebas, inspección) por parte del personal de construcción y materiales (técnicos/inspectores).
- Comunicarse de forma rutinaria con el responsable de control de calidad del contratista y con todos los miembros del equipo de aceptación de la agencia.
- Notificar al contratista las deficiencias identificadas en el control de calidad.
- Realizar análisis de datos para determinar la calidad del producto y la remuneración del contratista.
- Garantizar la documentación y los registros de aceptación adecuados.

Cada director de proyecto/ingeniero residente de la agencia debe estar debidamente cualificado para desempeñar las responsabilidades mencionadas anteriormente. Aunque los requisitos de cualificación del personal que desempeña las funciones de director de proyecto/ingeniero residente varían de una agencia a otra, se recomienda que cada director de proyecto/ingeniero residente posea una combinación de formación académica y experiencia práctica en la realización de actividades de aceptación. Se sugiere que los requisitos mínimos de formación incluyan formación presencial formal y cualificación/certificación mediante un curso completo sobre garantía de calidad. Lo ideal es que el PM/RE también tenga experiencia relevante en la aplicación de los requisitos de un programa de garantía de calidad y las especificaciones de garantía de calidad en proyectos de construcción de transporte.

Técnicos/inspectores de Aceptación de Instalaciones de Producción

Las actividades de aceptación en las instalaciones de producción suelen ser realizadas por técnicos o inspectores de materiales de la agencia. Como se ha mencionado anteriormente, también se puede recurrir a personal cualificado de un agente designado (es decir, un consultor) para complementar al personal de la agencia en la realización de actividades de aceptación en algunas instalaciones de producción. Cada agencia debe proporcionar un número suficiente de ***técnicos/inspectores de aceptación de instalaciones de producción*** cualificados para realizar actividades de aceptación en las instalaciones de producción de los contratistas que suministran materiales a un proyecto de construcción de la agencia. El número de técnicos o inspectores necesarios en cada instalación del contratista dependerá de: la categoría principal de materiales que se produzcan (es decir, materiales producidos para el proyecto, materiales fabricados, materiales manufacturados estándar); el volumen medio de material producido; y la frecuencia mínima requerida de muestreo, ensayo e inspección de aceptación. Las actividades de aceptación realizadas en las instalaciones del productor o fabricante pueden requerir que al menos un técnico de materiales de la agencia esté presente en las instalaciones durante un cierto período cada día; sin embargo, las actividades de aceptación requeridas en las instalaciones del fabricante suelen ser mucho menos frecuentes o se realizan sobre la base de auditorías, por ejemplo, mensuales, semestrales o anuales.

Las principales funciones de cada técnico/inspector de aceptación de las instalaciones de producción incluyen:

- Supervisar la adecuación de la actividad de control de calidad en las instalaciones de producción.
- Realizar muestreos, pruebas e inspecciones de aceptación en las instalaciones de producción.
- Preparar y firmar los formularios estándar de informe de pruebas/inspección de aceptación.

- Proporcionar información periódica a los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista y al PM/RE de la agencia sobre la base de las actividades de aceptación mencionadas anteriormente.

En la sección 6.7 se presenta un resumen más detallado de las actividades de aceptación de las instalaciones de producción.

Independientemente de si son empleados de la agencia o consultores, todos los técnicos/inspectores de aceptación de las instalaciones de producción deben estar debidamente cualificados para desempeñar las responsabilidades mencionadas anteriormente. Los requisitos formales de cualificación/certificación para los técnicos/inspectores de aceptación los establece cada agencia. Lo ideal es que estos requisitos de cualificación/certificación sean los mismos que los exigidos por la agencia a los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista. Esto proporciona una posición profesional adecuada a las actividades de aceptación de la agencia y promueve la uniformidad en el muestreo, las pruebas y la inspección tanto por parte de los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista como de los técnicos/inspectores de aceptación de la agencia. A su vez, esto puede reducir las posibles disputas relacionadas con los procedimientos de muestreo, pruebas o inspección. En consecuencia, la mayoría de las agencias exigen que todos los técnicos/inspectores de aceptación de las instalaciones de producción estén cualificados/certificados a través de los mismos tipos de programas nacionales, regionales o estatales identificados para el personal de control de calidad de las instalaciones de producción en el capítulo 5 (sección 5.2).

Personal del Laboratorio de Aceptación

El personal del laboratorio de aceptación suele ser personal de la agencia; sin embargo, también se puede recurrir a personal cualificado de un agente designado (es decir, un consultor) para complementar al personal de la agencia en la realización de actividades de aceptación en los laboratorios de la agencia. El personal del laboratorio de aceptación de cada laboratorio de la agencia suele incluir un supervisor de laboratorio y técnicos de laboratorio. El número de técnicos de laboratorio que cuenta cada laboratorio de la agencia debe ser suficiente para manejar las necesidades de muestreo y pruebas de aceptación de los diversos proyectos de construcción activos de la agencia a los que prestan apoyo.

Las principales funciones del personal del laboratorio de aceptación incluyen:

- Obtener muestras de aceptación de materiales del lugar del proyecto de construcción o de las instalaciones de producción.
- Realización de pruebas de laboratorio en muestras de aceptación.
- Preparación y firma de formularios estándar de informes de pruebas de aceptación.
- Proporcionar comentarios al personal del laboratorio de control de calidad del contratista y a los técnicos/inspectores de materiales de la agencia basándose en los resultados de las pruebas de aceptación.
- Identificar los materiales que no cumplen los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad y discutirlos con el gestor de proyectos/ingeniero de proyectos de la agencia.

Todo el personal del laboratorio de aceptación debe estar debidamente cualificado para desempeñar las funciones mencionadas anteriormente. El personal del laboratorio de aceptación debe estar cualificado/certificado para los materiales individuales que muestrea y prueba dentro de las tres categorías principales de materiales (es decir, materiales producidos por el proyecto, materiales fabricados y materiales fabricados estándar).

Los requisitos de cualificación/certificación del personal del laboratorio de aceptación los establece cada agencia. Normalmente, la agencia exige que los técnicos del laboratorio de aceptación estén cualificados/certificados a través de los mismos tipos de programas mencionados anteriormente para los técnicos/inspectores de aceptación de las instalaciones de producción.

Técnicos/inspectores de Aceptación de Campo

Las actividades de aceptación durante la colocación o instalación de materiales en el sitio del proyecto de construcción deben ser realizadas por ***técnicos/inspectores de aceptación*** con experiencia y debidamente calificados. Este personal de aceptación suele pertenecer a la unidad de construcción de la agencia o puede ser de un agente designado (es decir, un consultor) bajo contrato con la agencia. Se debe proporcionar personal técnico/inspectores de aceptación cualificados para realizar las actividades de aceptación de cada categoría de trabajo importante contemplada en las especificaciones de control de calidad del proyecto (por ejemplo, movimientos de tierra, material de subbase y base, pavimentos, elementos geotécnicos, hormigón estructural). El número de personal de aceptación necesario dependerá de la cantidad de materiales que se coloquen o instalen para cada elemento de trabajo activo. En todos los casos, el número de técnicos/inspectores de aceptación debe ser suficiente para realizar inspecciones y pruebas de aceptación oportunas para cada elemento de trabajo con la frecuencia requerida.

Las principales funciones de cada técnico/inspector de aceptación sobre el terreno incluyen:

- Supervisar la adecuación de la actividad de control de calidad sobre el terreno para cada elemento de trabajo activo.
- Realizar muestreos, pruebas e inspecciones de aceptación de las operaciones de colocación en el terreno.
- Preparar y firmar los formularios estándar de informe de pruebas/inspección de aceptación.
- Proporcionar información periódica a los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista y al PM/RE de la agencia sobre la base de las actividades de aceptación mencionadas anteriormente.

En la sección 6.8 se presenta un resumen más detallado de las actividades de aceptación sobre el terreno.

Ya sean empleados de la agencia o consultores, todos los técnicos/inspectores de aceptación de campo deben estar debidamente cualificados para desempeñar las responsabilidades mencionadas anteriormente. Los técnicos/inspectores de aceptación de campo deben estar cualificados para realizar todas las pruebas de aceptación o tareas de inspección necesarias para cada uno de los principales elementos de trabajo de los que son responsables. Las pruebas realizadas por los técnicos/inspectores de aceptación de campo normalmente solo se refieren a los materiales producidos por el proyecto (es decir, movimientos de tierra, elementos geotécnicos, capas de base y subbase, asfalto mezclado en caliente, hormigón de cemento Portland, revestimientos de acero estructural y marcas de pavimento). Se requiere una inspección de campo durante la colocación de estos materiales producidos por el proyecto, así como para la instalación de materiales fabricados o materiales estándar. Los técnicos/inspectores de aceptación de campo pueden estar cualificados para realizar pruebas e inspecciones de múltiples elementos de trabajo.

Los requisitos formales de cualificación/certificación para los técnicos/inspectores de aceptación de campo son establecidos por cada agencia. Lo ideal es que estos requisitos de cualificación/certificación sean los mismos que los exigidos por la agencia a los técnicos/inspectores de control de calidad del contratista. En consecuencia, se recomienda que las agencias exijan que todos los técnicos/inspectores de aceptación de campo estén cualificados/certificados a través de los mismos tipos de programas nacionales, regionales o estatales identificados para el personal de control de calidad de campo en el capítulo 5 (sección 5.2).

6.3 - Revisión y aprobación del plan de control de calidad

Responsabilidad de la Revisión y Aprobación del Plan de Control de Calidad

Como se explica en el capítulo 5, las especificaciones de control de calidad de la agencia suelen identificar categorías específicas de trabajos (por ejemplo, movimientos de tierra, pavimentos, hormigón estructural, etc.) para las que el contratista debe disponer de un plan de control de calidad. Las especificaciones de control de calidad también identifican el contenido mínimo específico requerido del plan de control de calidad y pueden exigir un formato prescrito para dicho plan. Si bien la preparación y la plena aplicación de cada plan de control de calidad es responsabilidad del contratista, cada plan debe ser revisado y aprobado (o aceptado) por la agencia. Como se explica más adelante, es importante que el personal de la agencia responsable de revisar y aceptar el plan de control de calidad comprenda plenamente los requisitos específicos de presentación y se asegure de que se cumplan.

Objetivos de la Revisión del Plan de Control de Calidad

La revisión del plan de control de calidad por parte de la agencia tiene dos objetivos principales:

(1) Determinar que el contratista cuenta con el personal, las instalaciones y los procedimientos suficientes para llevar a cabo un control de calidad eficaz.

(2) Determinar que el plan de control de calidad aborda adecuadamente los detalles específicos del proyecto en los planes y especificaciones del contrato.

El Plan de Control de Calidad está destinado a servir como una extensión de las especificaciones del proyecto. Por lo tanto, es importante que la revisión de los Planes de Control de Calidad por parte del personal de la agencia aborde los detalles específicos del proyecto y que no se convierta en un proceso rutinario.

El objetivo de la revisión del plan de control de calidad no es que la agencia asuma la función de redactar el plan de control de calidad para el contratista. Como se ha indicado anteriormente, el contratista debe asumir la responsabilidad de redactar un plan de control de calidad que:

(A) Siga el formato prescrito por la agencia.

(B) Contenga contenido suficientemente detallado que aborde el personal y las actividades de control de calidad específicos del proyecto.

Si el contratista presenta un plan de control de calidad que cumple razonablemente con estos requisitos, la revisión de la agencia normalmente dará lugar solo a comentarios menores. Si, por el contrario, el plan de control de calidad es deficiente en cuanto a formato o contenido, la agencia debe asegurarse de que se documenten comentarios de revisión específicos y detallados y se envíen al contratista solicitando que se realicen las revisiones adecuadas al plan de control de calidad.

Finalidad de la Aprobación del Plan de Control de Calidad

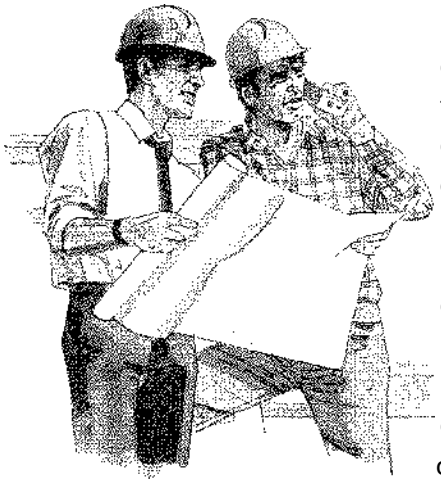
Con el fin de eliminar posibles malentendidos o interpretaciones erróneas de la acción de aprobación de la agencia, algunas agencias optan por indicar que el plan de control de calidad es «aceptado» en lugar de «aprobado». Además, las agencias pueden incluir en las especificaciones del contrato una cláusula exculpatoria en la que se indique que, aunque se aprueba (o se acepta) el plan de control de calidad, la agencia no se hace responsable ni ofrece ninguna garantía con respecto a la calidad final del producto obtenida por el contratista.

La aprobación por parte de la agencia del plan de control de calidad del contratista no tiene por objeto asignar a la agencia la responsabilidad de la aplicación o la eficacia del plan de control de calidad. La autoría y la propiedad del desarrollo de un plan de control de calidad y la correspondiente aplicación de prácticas eficaces de control de calidad recae íntegramente en el contratista. El propósito de la aprobación del plan de control de calidad por parte de la agencia es documentar formalmente que la agencia ha revisado el plan de control de calidad y ha confirmado que cumple razonablemente los dos objetivos de revisión mencionados anteriormente. El proceso de revisión y aprobación del plan de control de calidad proporciona un canal de comunicación formal para que la agencia determine que el contratista está preparado para proporcionar un control de calidad adecuado. No ofrece ninguna garantía de que el contratista vaya a tener éxito en la provisión de un producto de calidad.

Proceso de Revisión y Aprobación del Plan de Control de Calidad

La revisión y aprobación por parte de la agencia de cada plan de control de calidad debe realizarse con suficiente antelación al inicio de cualquier operación de producción o colocación relacionada con el elemento de trabajo pertinente. Tal y como se explica en el capítulo 5 (sección 5.4), los requisitos específicos relativos al formato, el contenido y el momento de presentación del plan de control de calidad antes del inicio de la actividad de construcción variarán de una agencia a otra.

El personal de la agencia que revise un plan de control de calidad debe esperar un documento preparado en un formato de aspecto profesional. La adopción por parte de la agencia de un formato estándar para el plan de control de calidad es beneficiosa tanto para la agencia como para el contratista, por lo que se recomienda su uso.
El establecimiento de un formato estándar, que incluya al menos un resumen de los principales temas o apartados que deben abordarse, así como elementos estilísticos (por ejemplo, tipo de fuente, tamaño de letra, márgenes, encabezados y pies de página, numeración de páginas, etc.), evitará que ambas partes pierdan un tiempo valioso en resolver estas cuestiones cada vez que se presente un plan de control de calidad. Un formato estándar puede proporcionar un proceso más eficiente de elaboración y revisión del plan de control de calidad, ya que sirve de esquema para orientar al contratista y al personal de la agencia a fin de garantizar que se incluya toda la información necesaria en el plan de control de calidad. También facilita la consulta periódica de los requisitos específicos de control de calidad por parte del contratista y el personal de la agencia durante la construcción de un proyecto a otro.



El personal de la agencia que revise los planes de control de calidad debe asegurarse de que se aborden exhaustivamente todos los elementos principales del contenido descritos en el capítulo 5 (sección 5.4). Dado que cada proyecto es diferente y que cada contratista puede tener un enfoque diferente para el mismo elemento de trabajo, los planes de control de calidad individuales nunca deben ser idénticos. La agencia debe tener en cuenta que una de las ventajas de exigir a los contratistas que presenten planes de control de calidad para su revisión es que permite abordar cuestiones específicas de calidad antes de que comience el proyecto, eliminando la incertidumbre de cómo gestionará el contratista estas situaciones durante la construcción. La agencia tiene todo el derecho a esperar que el plan de control de calidad especifique, en la medida de lo posible, los procedimientos que se aplicarán para las medidas correctivas y cómo se medirá la eficacia de cada medida. Si un plan de control de calidad presentado no aborda satisfactoriamente estas cuestiones, la agencia debe solicitar aclaraciones y revisiones adicionales. Además, si el plan de control de calidad contiene otros planes de control de calidad relevantes del contratista (por ejemplo, en un apéndice), la agencia debe verificar los planes de control de calidad para asegurarse de que no haya conflictos entre ellos. La agencia no debe aceptar planes de control de calidad del contratista que estén incompletos o que hagan referencia a otros planes de control de calidad que no estén incluidos.

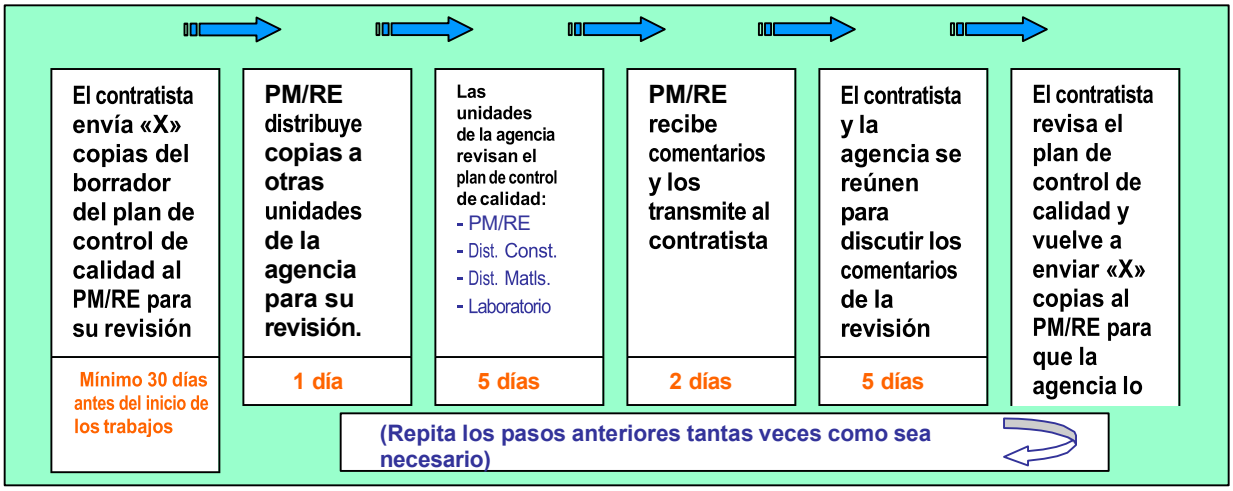
El personal de la agencia que participe en el proceso de revisión y aprobación del plan de control de calidad debe incluir, como mínimo, al personal directamente responsable de las actividades de aceptación del proyecto (es decir, el director del proyecto/ingeniero residente, los técnicos/inspectores de campo, el ingeniero de materiales y los técnicos/inspectores de las instalaciones de producción). Además del equipo de aceptación del proyecto, los procedimientos de la agencia pueden requerir que otro personal de construcción o de materiales de niveles superiores de la estructura organizativa de la agencia (es decir, personal de la oficina regional/distrital, personal de la oficina central) participe en el proceso de revisión y aprobación del plan de control de calidad. Como se ha comentado en la sección 6.2 anterior, lo ideal es que todas las actividades relacionadas con la aceptación de la agencia en proyectos de construcción individuales sean realizadas por (o bajo la dirección de) el director del proyecto/ingeniero residente. Por consiguiente, se anima a las agencias a que confíen la responsabilidad de coordinar la revisión y la aprobación final del plan de control de calidad al director del proyecto/ingeniero residente.

Independientemente de la estructura de revisión y aprobación del plan de control de calidad dentro de la agencia, los procedimientos específicos y la asignación de responsabilidades deben documentarse claramente y compartirse con todo el personal de la agencia que participe en el proceso. La información específica mínima que se recomienda proporcionar incluye:

- El número de copias del plan de control de calidad que debe presentar el contratista (se sugiere una por revisor).
- Todas las unidades/personal de la agencia que deben revisar el Plan de control de calidad.
- El tiempo (número de días) asignado para la revisión de la agencia y la devolución de comentarios.

Se recomienda encarecidamente que, tras la presentación inicial del plan de control de calidad, se celebre una reunión de revisión entre la agencia y el contratista para discutir los comentarios específicos de la agencia. Esto puede ayudar a aclarar o resolver los comentarios y facilitar un proceso de revisión oportuno.

Un diagrama de flujo o similar que describa el proceso de revisión y aprobación del plan de control de calidad puede ser útil para documentar y comunicar esta información. A continuación se presenta un ejemplo de diagrama de flujo que describe el proceso de la agencia para la revisión y aprobación del plan de control de calidad.



6.4 - Supervisión de la actividad de control de calidad del contratista

Función de la agencia en la supervisión del control de calidad del contratista

Como se ha comentado brevemente anteriormente (sección 6.1), la agencia lleva a cabo tres actividades generales de aceptación para medir la calidad de todos los materiales producidos y colocados por el contratista. La primera de estas actividades de la agencia es ***supervisar*** la adecuación de ***la actividad de control de calidad*** del contratista.

El objetivo de la supervisión por parte de la agencia del control de calidad del contratista es confirmar que las actividades de control de calidad de cada elemento del trabajo se están llevando a cabo de conformidad con el plan de control de calidad aprobado para dicho elemento. La función de la agencia no es intentar asumir las responsabilidades de control de calidad del contratista ni proporcionar orientación constante al contratista sobre cómo llevar a cabo el control de calidad.

Por lo tanto, la supervisión de la agencia sobre el control de calidad se centra en la idoneidad del personal de control de calidad y en la eficacia de los procedimientos de control de calidad que aplica el contratista. No pretende evaluar la calidad del producto que se fabrica y se comercializa. En resumen, la supervisión de la agencia sobre la actividad de control de calidad sirve como herramienta de auditoría para que la agencia se asegure de que se cumplen satisfactoriamente los requisitos contractuales del contratista de proporcionar un control de calidad eficaz.

Alcance de las actividades de supervisión de la agencia

La supervisión de la agencia del control de calidad del contratista incluye las siguientes actividades generales:

- Observación visual periódica (por ejemplo, diaria, semanal, etc.) de la inspección, el muestreo y las pruebas de control de calidad.
- Revisión de los registros/documentos de control de calidad para garantizar que se preparan y mantienen adecuadamente.
- Proporcionar comentarios al personal del contratista para confirmar que la actividad de control de calidad parece adecuada o para señalar al contratista las deficiencias en el control de calidad.

Documentación de la supervisión y comentarios

El personal de aceptación de la agencia debe documentar sus conclusiones de supervisión (positivas o negativas) sobre la idoneidad del control de calidad. Se recomienda elaborar y utilizar algún tipo de ***formulario*** estándar ***de informe de supervisión*** (MRF) para registrar las conclusiones de la agencia a partir de la supervisión del control de calidad del contratista. La agencia puede optar por elaborar MRF separados para la supervisión del control de calidad de las instalaciones de producción y la supervisión del control de calidad de la colocación sobre el terreno para categorías individuales de elementos de trabajo importantes. A menudo resulta útil que los MRF proporcionen referencias específicas a la sección aplicable del plan de control de calidad del contratista para cada actividad de control de calidad que se supervise. El formato de los MRF no tiene por qué ser excesivamente extenso, pero lo ideal es que incluya, como mínimo, un esquema o una lista de casillas de verificación con los elementos de control de calidad requeridos (es decir, personal de control de calidad, procedimientos de control de calidad, documentación de control de calidad, etc.), junto con un espacio para anotar observaciones y conclusiones específicas sobre la idoneidad de los elementos individuales revisados.

Para hacer un uso eficaz de la supervisión de la actividad de control de calidad por parte de la agencia, el personal de la agencia debe proporcionar información oportuna al personal de control de calidad del contratista sobre los resultados de sus actividades de inspección de control de calidad. En consecuencia, la agencia debe enviar copias de todos los MRF al contratista y discutir los hallazgos específicos (tanto positivos como negativos) con el personal de control de calidad responsable de la operación en particular. El objetivo es garantizar que la información de supervisión de la agencia se utilice para confirmar con el contratista que la actividad de control de calidad se está llevando a cabo de conformidad con el plan de control de calidad aprobado, o para señalar dónde se ha detectado una deficiencia en la actividad de control de calidad y exigir al contratista que tome las medidas correctivas adecuadas.

Medidas de la agencia en caso de control de calidad inadecuado

Si la agencia identifica y documenta un control de calidad inadecuado por parte del contratista, este deberá tomar medidas inmediatas para subsanar la deficiencia. La respuesta de la agencia en caso de que el contratista no tome medidas correctivas en la actividad de control de calidad, tras haber sido notificado por la agencia de las deficiencias identificadas, deberá ser conforme a las disposiciones aplicables de las especificaciones de garantía de calidad. Las especificaciones pueden indicar que la agencia puede ordenar o solicitar al contratista que suspenda las operaciones correspondientes al trabajo en cuestión hasta que se tomen medidas correctivas satisfactorias.

Otras medidas que pueden prever las especificaciones incluyen la retención del pago al contratista por el trabajo en cuestión y/o la retención del pago por la actividad de control de calidad del contratista cuando el pago por dicha actividad se incluye en el contrato como una partida de pago separada.

El director del proyecto/ingeniero residente de la agencia debe conocer las disposiciones específicas del contrato y, cuando sea necesario, aplicarlas para garantizar que se proporciona un control de calidad eficaz por parte del contratista, que es un requisito contractual por el que la agencia está pagando.

6.5 - Actividades de inspección de aceptación

Finalidad de la inspección de aceptación de la agencia

La segunda actividad general de aceptación realizada por la agencia para medir la calidad de los materiales producidos y colocados por el contratista es ***la inspección de aceptación*** para identificar los trabajos con deficiencias visuales. Esta actividad no debe confundirse con la supervisión de la actividad de control de calidad descrita anteriormente (sección 6.4). El propósito de la inspección de aceptación de la agencia es proporcionar a la agencia su propia información, independiente de las actividades formales de inspección de control de calidad del contratista, para evaluar visualmente la calidad de los materiales y la mano de obra con el fin de verificar el cumplimiento razonable de las Planes y especificaciones del proyecto. La función de aceptación de la agencia no consiste en duplicar todas las actividades de inspección de control de calidad del contratista. La inspección de aceptación de la agencia debe centrarse principalmente en la calidad del producto fabricado e instalado, pero no debe ignorar los métodos utilizados por el contratista para la fabricación y la instalación.

Alcance de la inspección de aceptación de la agencia

Al igual que la inspección de control de calidad del contratista, la inspección de aceptación de la agencia debe utilizar tanto la observación visual como la comprobación de las mediciones. Sin embargo, mientras que la inspección de control de calidad del contratista se centra en cuatro amplios componentes de inspección (es decir, equipos, materiales, condiciones ambientales y mano de obra del producto), la inspección de aceptación de la agencia tiene por objeto centrarse solo en dos de ellos, a saber:

- Materiales
- Mano de obra del producto

Esto no significa que la agencia no se preocupe por los otros dos componentes de la inspección (es decir, el equipo y las condiciones ambientales). La agencia espera que las actividades de inspección de control de calidad del contratista incluyan estos dos componentes de inspección y que el personal de control de calidad se encargue principalmente de ellos. En caso de que el personal de aceptación de la agencia considere que el personal de control de calidad del contratista no está realizando adecuadamente la inspección relacionada con el equipo o las condiciones ambientales, estas conclusiones deben documentarse y comunicarse al contratista como parte de la supervisión de la actividad de control de calidad por parte de la agencia, tal y como se ha descrito anteriormente (sección 6.4).

La inspección de aceptación de la agencia de ***los materiales*** y ***la mano de obra del producto*** incluirá inspecciones visuales periódicas y comprobaciones de la documentación de origen (es decir, certificados de conformidad) tanto en el lugar de producción de los materiales como en el lugar de instalación o colocación. Estas actividades de inspección de aceptación se utilizan para garantizar que todos los productos se fabrican de acuerdo con los requisitos de calidad de los materiales de la agencia y se colocan de conformidad con las dimensiones, líneas, grados y tolerancias del plan que figuran en las especificaciones aplicables.

En las instalaciones de producción de materiales, la inspección de aceptación debe garantizar la calidad adecuada de los materiales componentes (por ejemplo, áridos, RAP, ligante PG, etc.), así como la calidad del producto completo cuando se prepara para su envío (HMA, PCC, etc.) al proyecto.

La inspección de aceptación de los materiales y la mano de obra del producto en el campo debe realizarse durante y después de la colocación o instalación del producto. Debe incluir la inspección de la calidad de los materiales componentes en el momento de la colocación o instalación (por ejemplo, clasificación visual del terraplén y espesor de la capa, tipo y estado de las barras de refuerzo recubiertas de epoxi, etc.), así como la calidad del producto acabado (por ejemplo, segregación de la capa de HMA, agrietamiento o defectos superficiales del PCC, etc.).

Enfoque de la inspección de aceptación

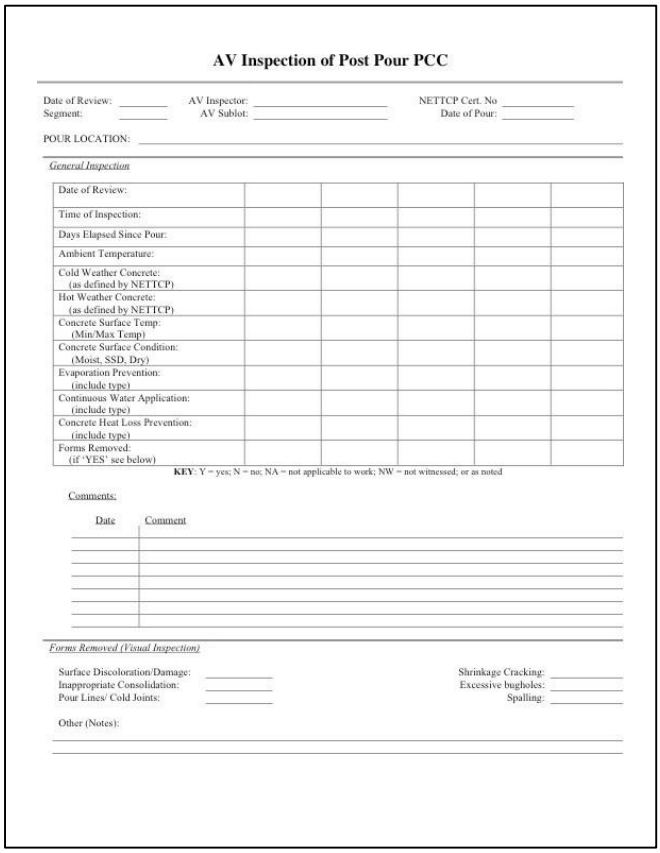
Se recomienda que la inspección de aceptación de la agencia se realice periódicamente (preferiblemente un mínimo de una vez al día por operación de producción o colocación). Se sugiere utilizar técnicas aleatorias para determinar las ubicaciones específicas para las observaciones visuales detalladas y las mediciones de control de la agencia. Este enfoque se basa en el hecho de que la actividad de inspección de control de calidad del contratista tiene por objeto proporcionar una primera línea de inspección para evitar que se produzcan deficiencias en los materiales o la mano de obra.

Por lo tanto, la agencia no debería considerar necesario inspeccionar cada pieza de material producido y colocado, sino que debería inspeccionar una muestra aleatoria de todos los materiales y la mano de obra terminada.

Sin embargo, la identificación de materiales y/o mano de obra no conformes no tiene por qué basarse únicamente en puntos de observación determinados al azar. Todos los materiales utilizados en el producto final y/o la mano de obra terminada de cada elemento de trabajo son «objeto legítimo» de la inspección de aceptación de la agencia. Si se descubren deficiencias evidentes en los materiales o en la mano de obra del producto en lugares distintos de los preseleccionados aleatoriamente para la inspección, el personal de inspección de la agencia deberá documentar dichos hallazgos como parte de la inspección de aceptación.

Documentación y comentarios de la inspección de aceptación

Todas las actividades de inspección realizadas por los técnicos/inspectores de aceptación deben documentarse diariamente en ***formularios de informe de inspección*** (IRF) estándar. Se recomienda elaborar y utilizar IRF separados para la inspección de las instalaciones de producción y la inspección de la colocación sobre el terreno para cada categoría principal de elementos de trabajo. Los formularios de informe de inspección deben abordar los dos componentes principales de la inspección de aceptación (es decir, los materiales y la mano de obra del producto) mencionados anteriormente. Lo ideal es que el formato de los IRF incluya un esquema o una lista de casillas de verificación con los elementos clave de la inspección, junto con un espacio para anotar observaciones específicas, mediciones o revisiones de los certificados de conformidad de los fabricantes.



AV Inspection of Post Pour PCC

Date of Review: _____ AV Inspector: _____ NETTCP Cert. No _____
Segment: _____ AV Sublot: _____ Date of Pour: _____

POUR LOCATION: _____

General Inspection

Date of Review:					
Time of Inspection:					
Days Elapsed Since Pour:					
Ambient Temperature:					
Cold Weather Concrete: (as defined by NETTCP)					
Hot Weather Concrete: (as defined by NETTCP)					
Concrete Surface Temp: (Min/Max Temp)					
Concrete Surface Condition: (Moist, SSD, Dry)					
Evaporation Prevention: (include type)					
Continuous Water Application: (include type)					
Concrete Heat Loss Prevention: (include type)					
Forms Removed: (if 'YES' see below)					

KEY: Y = yes; N = no; NA = not applicable to work; NW = not witnessed; or as noted

Comments:

Date	Comment

Forms Removed (Visual Inspection)

Surface Discoloration/Damage: _____ Shrinkage Cracking: _____
Inappropriate Consolidation: _____ Excessive bugholes: _____
Pour Lines/ Cold Joints: _____ Spalling: _____

Other (Notes): _____

6.6 - Requisitos de muestreo y ensayo de aceptación

Finalidad del muestreo y las pruebas de aceptación

La tercera actividad general de aceptación utilizada por la agencia para medir la calidad final de todos los materiales producidos y colocados por el contratista es ***el muestreo y las pruebas de aceptación***. Al igual que la inspección de aceptación, el propósito del muestreo y las pruebas de aceptación es proporcionar a la agencia sus propios datos (independientes del muestreo y las pruebas de control de calidad del contratista) para medir la calidad del producto final. La función del muestreo y las pruebas de aceptación de la agencia no es proporcionar datos para el control de calidad ni dirigir o controlar de otro modo las operaciones de producción y colocación del contratista. Como se explica en el capítulo 5, el muestreo y las pruebas de control de calidad del contratista tienen por objeto cumplir esa función. El muestreo y las pruebas de aceptación se centran únicamente en la calidad medida del producto y no pretenden evaluar los procesos utilizados por el contratista para la producción y colocación de los materiales.

Ámbito de aplicación del muestreo y las pruebas de aceptación

La agencia debe asegurarse de que el muestreo y las pruebas de aceptación se realicen tanto en las instalaciones de producción que suministran material al proyecto como en el lugar de instalación o colocación del producto. El muestreo y las pruebas de aceptación en las instalaciones de producción incluyen los materiales fabricados, elaborados o producidos para el proyecto. Los materiales de construcción que requieren muestreo y pruebas de aceptación durante la colocación en el terreno normalmente solo incluirán los materiales producidos para el proyecto.

El muestreo y las pruebas de aceptación no pretenden duplicar todas las actividades de muestreo y pruebas de control de calidad del contratista. La agencia mide la calidad de los materiales

se lleva a cabo mediante el muestreo y las pruebas solo de aquellas características de calidad clave que la agencia utilizará para su determinación final de aceptación. Como se explica en el capítulo 4, las características de calidad de cada elemento de trabajo se seleccionan para el muestreo y las pruebas de aceptación que se ha demostrado que están relacionadas con el rendimiento a largo plazo del producto terminado.

El muestreo y las pruebas de aceptación solo deben ser realizados por técnicos o inspectores de aceptación que estén debidamente cualificados para llevar a cabo los métodos específicos de muestreo y pruebas requeridos. Como se explica brevemente en el capítulo 2, todo el muestreo y las pruebas de aceptación deben ser:

- Realizados por personal de la agencia (o personal de un agente designado).
- Realizados independientemente del muestreo y las pruebas de control de calidad del contratista.

Para mantener el equilibrio y los límites adecuados entre el control de calidad del contratista y la aceptación de la agencia, esta última debe obtener siempre sus propias muestras de aceptación. Las muestras divididas del control de calidad no deben utilizarse como muestras de aceptación de la agencia. Obtener muestras separadas para control de calidad y aceptación (es decir, obtenidas de forma independiente) no solo es recomendable, sino que es un requisito exigido por algunas agencias de transporte. Por ejemplo, en todos los proyectos de carreteras con ayuda federal, es un requisito (23 CFR 637.205(d)) que todo el muestreo y las pruebas de aceptación sean realizados por personal de la agencia o personal cualificado del agente designado por la agencia.

Para que se consideren independientes del contratista, las muestras de aceptación deben contener información independiente que refleje todas las fuentes de variabilidad asociadas con el material, el proceso, el muestreo y las pruebas en los resultados de las pruebas. Esto significa que el muestreo y las pruebas reales de las muestras de aceptación deben ser realizados por la agencia.
Sin embargo, se permite que el personal del contratista ayude al personal de la agencia a

obtener de forma independiente las muestras de aceptación cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- La ubicación y el momento de la muestra de aceptación han sido seleccionados aleatoriamente por la agencia y solo se comunican al contratista inmediatamente antes del muestreo.
- El personal del contratista solo proporciona mano de obra para ayudar a obtener físicamente la muestra de aceptación (por ejemplo, manejando la plataforma de perforación y extrayendo el núcleo).
- Tanto el técnico/inspector de la agencia como el técnico/inspector del contratista están cualificados para tomar muestras del material que se está muestreando.
- El técnico/inspector de la agencia está presente para dirigir y supervisar la toma de la muestra de aceptación.
- El técnico/inspector de la agencia toma posesión inmediatamente de la muestra de aceptación.

Enfoque del muestreo y las pruebas de aceptación

Como se explica en el capítulo 2, una agencia puede adoptar uno de los dos enfoques siguientes para establecer su sistema de muestreo y ensayo de aceptación con el fin de tomar una decisión definitiva sobre la aceptación del producto:

- Utilizar únicamente los ensayos de aceptación de la agencia para la determinación de la aceptación.
- Incluir pruebas de control de calidad validadas por el contratista en la determinación de aceptación.

Como se explica más adelante (sección 6.9), la validación es un proceso de comparación matemática de dos conjuntos de resultados de pruebas obtenidos de forma independiente (resultados de aceptación de la agencia frente a resultados de control de calidad del contratista) para determinar si proceden de la misma población.

Si en la determinación final de la aceptación solo se utilizan los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia, esta deberá obtener una muestra por sublote. Si las especificaciones de la agencia permiten incluir los resultados de las pruebas de control de calidad validadas junto con los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia en la determinación final de la aceptación, la agencia podrá:

(A) Seguir obteniendo una muestra de aceptación por sublote (es decir, se muestrean y prueban el 100 % de todos los sublotes), o

(B) Obtenga una muestra de aceptación solo de algunos de los sublotes (normalmente solo se muestrean y analizan entre el 25 % y el 50 % de los sublotes).

Si se utiliza una frecuencia reducida de muestreo de aceptación por parte de la agencia (es decir, menos del 100 % de todos los sublotes), los sublotes individuales seleccionados para el muestreo de aceptación deben ser aleatorios.

El muestreo y las pruebas de aceptación deben realizarse de manera oportuna. Las muestras de aceptación deben obtenerse con la frecuencia requerida a medida que avanza la producción o la colocación del material. Independientemente de si la agencia muestrea y prueba todos los sublotes o solo algunos, el muestreo y las pruebas de aceptación deben realizarse en tiempo real durante la producción y la colocación de los materiales para cada elemento de trabajo. En un sistema de aceptación que utilice muestras de aceptación de la agencia al 100 % o un número reducido de muestras de aceptación con muestras de control de calidad validadas, es posible que se requieran algunas pruebas de aceptación de la agencia durante cada día de producción o colocación. Algunas especificaciones de control de calidad (normalmente solo para materiales producidos en el proyecto o materiales fabricados) exigen que la agencia obtenga un mínimo de una muestra al día, independientemente de la cantidad de material (número de sublotes) producido o colocado en un día determinado.

Frecuencia del muestreo y las pruebas de aceptación

El muestreo y las pruebas de aceptación de la agencia deben realizarse con una frecuencia suficiente para representar cantidades definidas de material.
La agencia debe disponer de datos suficientes, independientes de los datos de control de calidad del contratista, para evaluar la calidad del producto. Como se explicó en el capítulo 4, la cantidad total de material producido y colocado para un elemento de trabajo individual se divide en lotes y sublotes. Como se discutió en el capítulo 5, el contratista es Normalmente se requiere obtener un mínimo de una muestra aleatoria de control de calidad por sublote con fines de control de calidad. Sin embargo, la frecuencia del muestreo y las pruebas de aceptación de la agencia depende del enfoque de aceptación especificado por la agencia.

Si solo se utilizan los resultados de la agencia para calcular el nivel de calidad para la determinación final de aceptación, la frecuencia de muestreo y pruebas de aceptación será generalmente mayor que si se incluyen los resultados de control de calidad en la determinación de aceptación. Si se permite tener en cuenta los resultados del control de calidad, la frecuencia de muestreo y ensayo de aceptación de la agencia puede reducirse. Sin embargo, incluso si se permiten los resultados del control de calidad en el sistema de aceptación, la agencia debe seguir disponiendo de datos suficientes. Si se permiten los resultados del control de calidad, pero la agencia no puede validarlos, normalmente solo se utilizan los resultados de los ensayos de aceptación de la agencia.
Por lo tanto, la frecuencia mínima de las pruebas de aceptación de la agencia debe garantizar que el número de muestras de aceptación proporcione una representación matemática significativa. En consecuencia, las especificaciones de garantía de calidad deben exigir un mínimo de 3 a 4 muestras para representar un lote determinado de material producido o colocado. Como se explicará con más detalle en el capítulo 8, cuantos más datos de aceptación se disponga, mejor, pero es importante garantizar que el número mínimo de resultados de pruebas de aceptación disponibles sea suficiente para representar adecuadamente cada lote de material.

Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia normalmente identificarán la frecuencia mínima requerida de muestreo y pruebas de aceptación utilizando tamaños de lotes y sublotes. En el apéndice E se proporciona una lista de direcciones web

con los requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias, incluidos los tamaños típicos de lotes y sublotes especificados por las agencias para el muestreo y las pruebas de aceptación, se encuentra en **el apéndice E**.

Métodos de muestreo y ensayo de aceptación

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias también identificarán las características mínimas de calidad sujetas al muestreo y las pruebas de aceptación, así como los lugares de muestreo y los métodos de prueba correspondientes que se utilizarán. Los métodos de muestreo y prueba requeridos serán normalmente los métodos de prueba estándar designados por la AASHTO. Cuando el muestreo estándar de la AASHTO o

No existen métodos de ensayo, por lo que normalmente se especifican los métodos de ensayo ASTM. Aunque no se recomienda, algunas agencias especifican sus propios métodos de muestreo o ensayo, que suelen ser métodos AASHTO o ASTM con algunas variaciones menores en el procedimiento. En **el apéndice E** se incluye una lista de direcciones web con los requisitos típicos de las especificaciones de control de calidad de las agencias, incluidos los requisitos mínimos de muestreo y ensayo de aceptación (es decir, características de calidad, lugares de muestreo y métodos de ensayo) especificados por las agencias.

Muestreo y ensayo aleatorios de aceptación

Todas las muestras de aceptación de las agencias deben seleccionarse aleatoriamente de entre sublotes individuales utilizando un procedimiento de muestreo aleatorio. El muestreo aleatorio elimina el sesgo, lo que proporciona una imagen más fiel de la calidad del material que se produce o se coloca. El uso de un procedimiento de muestreo aleatorio no solo es recomendable, sino que es obligatorio en algunas agencias de transporte. Por ejemplo, en todos los proyectos de carreteras con ayuda federal, es un requisito (23 CFR 637.205(e)) que todas las muestras utilizadas para las pruebas de aceptación se obtengan de forma aleatoria. El muestreo de aceptación de la agencia nunca debe realizarse a intervalos uniformes (por ejemplo, al comienzo de cada sublote) o sobre la base de cuotas (por ejemplo, todas las muestras obtenidas de la 1^{era} mitad del lote).

Los técnicos o inspectores de aceptación deben determinar las ubicaciones de las muestras de aceptación utilizando números aleatorios generados por separado del personal de control de calidad. La mayoría de las agencias exigen que todas las ubicaciones de muestreo aleatorio se determinen de acuerdo con la norma ASTM D3665 o mediante el uso de una función de generación de números aleatorios en una calculadora o computadora. Todas las ubicaciones de muestreo aleatorio de aceptación deben determinarse antes del inicio de la operación de producción o colocación correspondiente (normalmente en al comienzo del día) y documentadas por el personal de aceptación de la agencia en los formularios estándar de informe de pruebas. Se recomienda proporcionar una copia de los formularios de informe de muestreo aleatorio completados al gerente de control de calidad/administrador del plan de control de calidad del contratista para su información después de que se hayan realizado el muestreo y las pruebas de aceptación correspondientes cada día.

Muestreo y pruebas de aceptación selectivos

Si durante la inspección de aceptación, los técnicos o inspectores de la agencia identifican visualmente materiales aparentemente no conformes que se han producido o colocado, se pueden obtener muestras no aleatorias, denominadas muestras de aceptación selectivas, dentro de un sublote para ayudar a cuantificar la calidad real del material. Como se explicó en el capítulo 4 (sección 4.9), un sublote de material que contenga una deficiencia significativa, visible y evidente debe aislarse del lote y rechazarse o evaluarse más a fondo mediante un muestreo selectivo y un muestreo aleatorio adicional. El muestreo selectivo se utiliza primero para determinar los límites de los materiales no conformes dentro del sublote individual. A continuación, deben obtenerse muestras aleatorias adicionales dentro del área de deficiencia.

definido mediante muestreo selectivo, con el fin de cuantificar adecuadamente la calidad real del material en cuestión. Dado que el muestreo selectivo no es aleatorio y, por lo tanto, es sesgado, los resultados de las pruebas de las muestras de aceptación selectivas nunca deben combinarse para su análisis con las muestras de aceptación aleatorias en la determinación de la aceptación de un lote determinado.

Sistema de identificación de muestras de aceptación

Es importante que los técnicos o inspectores de aceptación se aseguren de que todas las muestras de aceptación estén identificadas de forma clara y adecuada. Las agencias suelen establecer un sistema específico para la identificación de las muestras de aceptación obtenidas de todas las operaciones de producción y colocación. Los requisitos específicos de identificación de las muestras de aceptación suelen figurar en los procedimientos del programa de garantía de calidad de la agencia. No se puede subestimar la importancia de establecer y aplicar de forma coherente un sistema de identificación de muestras de aceptación. El etiquetado inadecuado de las muestras de aceptación puede dar lugar a que se combinen los datos de las pruebas de aceptación de diferentes lotes o a que se combinen los datos de muestras de aceptación selectivas con los datos de muestras de aceptación aleatorias, lo que invalidaría el análisis de los datos para la determinación de la aceptación de la agencia.

La información necesaria para el sistema de identificación de muestras de aceptación de una agencia es esencialmente la misma que se describe en el capítulo 5 para la identificación de muestras de control de calidad. Por lo general, incluye:

- Nombre o número del proyecto
- Tipo de material (por ejemplo, préstamo ordinario, HMA de 12,5 mm, barra de refuerzo epoxi n.º 9)
- Tipo de muestra de aceptación (por ejemplo, aleatoria, selectiva)
- Número de lote y número de sublote
- Ubicación de la muestra (por ejemplo, mediana, arcén, muro lateral este)
- Estación, desplazamiento, profundidad
- Fecha de la muestra
- Técnico o inspector de aceptación de la agencia

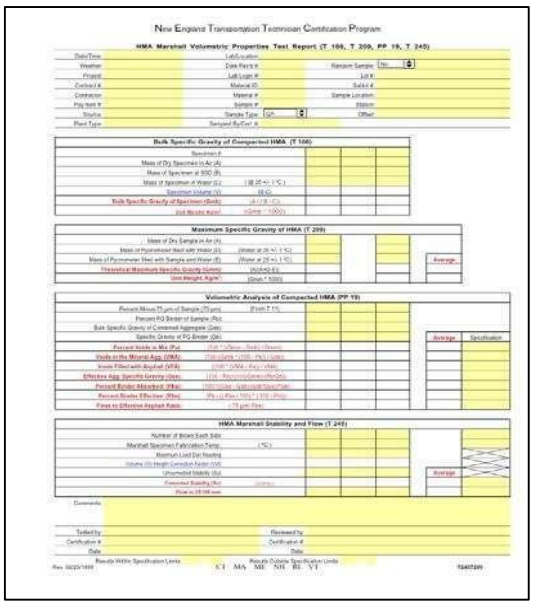
Procedimientos de almacenamiento y conservación de muestras de aceptación

La agencia debe establecer e implementar un sistema sólido para el almacenamiento y la conservación de las muestras de aceptación en cada proyecto. Los requisitos específicos de almacenamiento y conservación de las muestras de aceptación suelen figurar en los procedimientos del programa de control de calidad de la agencia.

Las prácticas de almacenamiento previas a las pruebas deben garantizar que todas las muestras de aceptación se mantengan en un lugar adecuado que las proteja de daños y que proporcione el entorno adecuado para el curado del material o el mantenimiento de las propiedades requeridas del mismo. Se recomienda dividir todas las muestras de aceptación antes de las pruebas, de acuerdo con los procedimientos de muestreo y prueba pertinentes. Agencia

Las especificaciones de garantía de calidad pueden describir procedimientos específicos para la división de muestras. La parte de la muestra dividida que no se utilice para las pruebas iniciales deberá conservarse en el dispositivo de almacenamiento de muestras original con la identificación adecuada. La muestra dividida deberá almacenarse en una sala de almacenamiento de muestras adecuada en el laboratorio de la agencia que haya realizado las pruebas iniciales durante un período razonable tras las pruebas (normalmente, un mínimo de 30 a 60 días).

Documentación y comentarios sobre el muestreo y las pruebas de aceptación


New England Transportation Technician Certification Program

HMA Marshall Volumetric Properties Test Report (T 166, T 209, PP 19, T 245)

Bulk Specific Gravity of Compacted HMA (T 166)

Maximum Specific Gravity of HMA (T 209)

Volumetric Analysis of Compacted HMA (PP 19)

HMA Marshall Stability and Flow (T 245)

Todos los muestreos y pruebas de aceptación realizados por los técnicos o inspectores de aceptación de la agencia deben documentarse diariamente en ***formularios de informe de pruebas*** (TRF) estándar. Se recomienda elaborar TRF separados para cada actividad de muestreo o prueba, o para cada grupo de pruebas relacionadas realizadas en la instalación de producción o en el lugar de colocación sobre el terreno, para cada categoría de trabajo importante.

Los formularios de informe de pruebas deben utilizar la nomenclatura correcta del método de muestreo o prueba y deben estar diseñados para seguir paso a paso el procedimiento de muestreo o prueba, con líneas o casillas para registrar cada valor medido o calculado. Los TRF también deben incluir espacio para comentarios y deben proporcionar el nombre y el número de cualificación/certificación pertinente del técnico o inspector de aceptación que realiza el muestreo o la prueba. En **el apéndice G** se incluyen ejemplos de formularios de informe de pruebas estándar.

En la sección 6.11, Registros de aceptación, se presentan más directrices para documentar y mantener registros adecuados de muestreo y pruebas de aceptación.

6.7 - Actividades de aceptación en las instalaciones de producción

Como se explica a lo largo de este capítulo, hay muchas actividades que debe realizar el personal de aceptación de la agencia para garantizar la calidad de los materiales y la mano de obra de los productos. El número total de técnicos/inspectores de aceptación cualificados presentes en cada instalación de producción debe basarse en la capacidad de la agencia para llevar a cabo de manera eficaz las actividades mínimas de aceptación requeridas (es decir, supervisar el control de calidad del contratista, la inspección de aceptación, el muestreo y las pruebas de aceptación).

El sistema general de aceptación de la agencia debe abordar adecuadamente todas las instalaciones de producción (es decir, fabricantes, fabricantes y productores) de materiales manufacturados y fabricados, así como los materiales producidos para proyectos que se suministran a un proyecto de construcción de transporte determinado.

Teniendo esto en cuenta, hay algunas actividades generales que deben realizarse de forma regular en el desempeño de la aceptación de la agencia y que no son específicas de una instalación de producción concreta. Estas actividades generales de aceptación son

Se resume a continuación en términos de las fases del proceso de producción (preproducción, durante la producción, posproducción). Este resumen no tiene en cuenta los requisitos individuales de cada agencia, ni pretende dictar cuándo y dónde son apropiadas las actividades y procedimientos específicos de aceptación.

Actividades de aceptación previas a la producción

- Llegue a la hora adecuada para instalar cualquier equipo de aceptación necesario para la jornada.
- Avisar al personal de control de calidad de su presencia.
- Verifique con el personal de control de calidad que el trabajo de producción sigue programado y no se ha retrasado.
- Verifique los totales de producción previstos con el personal de control de calidad (necesario para determinar el tamaño de los sublotes y/o el número requerido de muestras aleatorias).
- Encienda cualquier equipo necesario para el muestreo y las pruebas (calentamiento, calibración, preparación y/o mantenimiento según sea necesario para cumplir con los requisitos del procedimiento de prueba).
- Comience a completar los registros requeridos de información diaria, a veces denominados ***«Diario de la instalación de producción de aceptación»***, que deben incluir la hora de llegada a la instalación, la información meteorológica (precipitaciones, temperatura), la presencia de personal de control de calidad u otro personal de la agencia en la instalación (nombres y horas de presencia), así como cualquier retraso o cancelación significativa de la producción y las causas de los retrasos o cancelaciones.

- Seleccione números aleatorios y determine ubicaciones aleatorias para las muestras de aceptación (de acuerdo con los requisitos de la agencia).

Actividades de aceptación durante la producción

- Supervise periódicamente las actividades de control de calidad (es decir, inspección de control de calidad, muestreo, pruebas, uso de gráficos de control, etc.) durante la producción para garantizar que se siguen los procedimientos de control de calidad adecuados según el plan de control de calidad aprobado.

- Discuta con el personal de control de calidad la necesidad de tomar medidas correctivas en las actividades de control de calidad.

- Realizar una inspección visual de aceptación de los componentes de los materiales y del producto completo durante la producción.

- Identificar los materiales que no se ajustan a los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad.

- Preparar y firmar los formularios de informe de supervisión de control de calidad y los formularios estándar de informe de inspección de aceptación.

- Obtenga muestras de aceptación del material en la planta de producción utilizando ubicaciones aleatorias determinadas durante la fase previa a la producción.

- Etiquete todas las muestras de aceptación con la información requerida (por ejemplo, sublote, fecha, etc.) y almacene las muestras de forma ordenada durante el tiempo prescrito por la agencia.

- Realizar las pruebas de aceptación aleatorias requeridas con la frecuencia exigida por las especificaciones de control de calidad.

- Realizar cualquier muestreo selectivo cuando sea necesario para ayudar a evaluar la calidad dudosa o para confirmar que el producto es inaceptable.

- Realizar cualquier nuevo muestreo o nueva prueba que sea necesario de acuerdo con las directrices de la agencia o las especificaciones de control de calidad.

- Prepare y firme los formularios estándar de informe de pruebas de aceptación.

- Comparar los resultados de las pruebas de aceptación con los límites de especificación y/o los límites de ingeniería aplicables, tal y como se indica en las especificaciones de control de calidad.

- Proporcione comentarios periódicos al director del proyecto/ingeniero residente y al ingeniero de materiales basándose en los resultados de las inspecciones y pruebas de aceptación.

- Notificar al personal de control de calidad si la suspensión del transporte de materiales no conformes desde la planta de producción parece activarse según el plan de control de calidad aprobado.

- Comunicarse con el personal de aceptación sobre el terreno para transmitir la información de la inspección o las pruebas de aceptación relativas al producto.

- Comunicarse con el personal de control de calidad según sea necesario para proporcionar comentarios basados en la actividad de aceptación.

- Realizar las actividades diarias de aceptación con la frecuencia requerida y registrar cualquier información o resultado obtenido de dichas actividades en el ***diario de la planta de producción de aceptación***.

- Realizar cualquier calibración y/o verificación periódica del equipo de laboratorio utilizado para la aceptación de acuerdo con las frecuencias requeridas.

- Mantenga actualizados periódicamente los registros de todas las actividades de aceptación.

Actividades de aceptación posteriores a la producción

- Asegúrese de que toda la información (números aleatorios, ubicaciones de las muestras, resultados de las pruebas, observaciones visuales, control de calidad, etc.) se haya registrado en los formularios correspondientes.

- Coloque todos los formularios de informe de supervisión de control de calidad, formularios de informe de inspección y formularios de informe de pruebas completados en ***el libro de registros de la planta de producción de aceptación***.

- Prepare y envíe copias de todos los formularios de informe completados al director del proyecto/ingeniero residente y al ingeniero de materiales.

- Limpie el área de las instalaciones del laboratorio y todo el equipo utilizado para las pruebas de aceptación antes de abandonar las instalaciones de producción.

- Realice cualquier actividad preparatoria para el siguiente día de producción.

6.8 - Actividades de aceptación en el campo

Las actividades de aceptación en campo (como las actividades de aceptación en las instalaciones de producción) consisten en el muestreo, las pruebas y la inspección diarios, así como otras actividades relacionadas, para garantizar la calidad de los materiales y la mano de obra del producto. El número de técnicos/inspectores de aceptación en campo cualificados presentes en el lugar del proyecto debe ser suficiente para realizar de manera eficaz las actividades mínimas de aceptación requeridas (es decir, supervisar el control de calidad del contratista, la inspección de aceptación, el muestreo y las pruebas de aceptación).

Las actividades generales que se realizan a diario en el desempeño de la aceptación en campo y que no son específicas de un producto manufacturado/fabricado en particular o de un material producido para un proyecto se resumen a continuación en términos de las fases de colocación o instalación del producto (antes de la colocación, durante la colocación y después de la colocación).

Actividades de aceptación previas a la colocación

- Llegar a la hora adecuada antes de la instalación programada para preparar el trabajo del día y realizar cualquier actividad de inspección de aceptación previa a la instalación.

- Avisar al personal de control de calidad de su presencia.

- Verifique con el personal de control de calidad que el trabajo de colocación sigue programado y confirme los totales previstos de entrega de materiales.

- Asegúrese de que todos los materiales instalados antes de la colocación hayan sido inspeccionados y sean aceptables antes de la entrega y colocación de material nuevo.

- Cuando se detecten elementos no aceptables, notifique al personal de control de calidad del contratista para que realice las correcciones necesarias antes de colocar el nuevo material.

- Instale o encienda cualquier equipo necesario para el muestreo y las pruebas de aceptación (calentamiento, calibración, preparación y/o mantenimiento según sea necesario para cumplir con los requisitos del procedimiento de prueba).

- Comience a rellenar los registros diarios requeridos, a veces denominados ***«diario de campo de aceptación***», que deben incluir la hora de llegada al lugar de trabajo, la información meteorológica (precipitaciones, temperatura), la presencia de personal de control de calidad u otro personal de la agencia en el lugar de trabajo (nombres y horas de presencia), así como cualquier retraso o cancelación significativa de la instalación y las causas de los retrasos o cancelaciones.

- Seleccione números aleatorios y determine ubicaciones aleatorias para las muestras de aceptación (de acuerdo con los requisitos de la agencia).

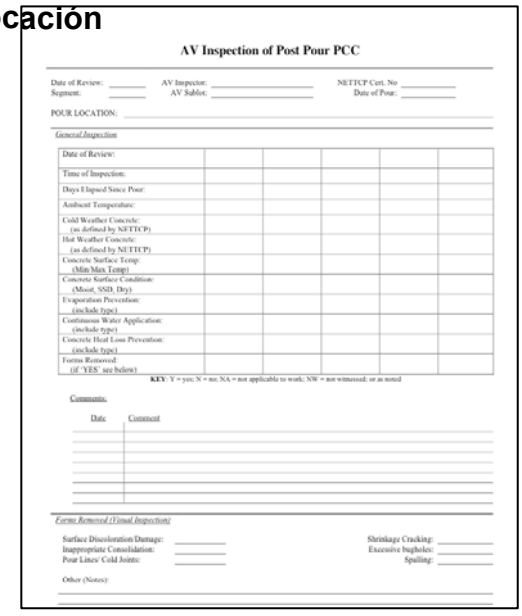
Actividades de aceptación durante la colocación

- Supervise periódicamente las actividades de control de calidad sobre el terreno (es decir, inspección de control de calidad, muestreo, pruebas, uso de gráficos de control, etc.) durante la colocación sobre el terreno para garantizar que se siguen los procedimientos de control de calidad adecuados según el plan de control de calidad aprobado.
- Realizar una inspección visual de aceptación de los materiales, la calidad y la mano de obra.
- Identificar los materiales colocados en el campo que no cumplan con los requisitos de las especificaciones pertinentes o del plan de control de calidad.
- Discutir con el personal de control de calidad la necesidad de tomar medidas correctivas en las actividades de control de calidad sobre el terreno.
- Preparar y firmar los formularios de informe de supervisión de control de calidad y los formularios estándar de informe de inspección de aceptación.
- Obtener muestras de aceptación de los materiales en el lugar de colocación sobre el terreno utilizando ubicaciones aleatorias determinadas durante la fase previa a la colocación.
- Etiquetar todas las muestras de aceptación con la información requerida (por ejemplo, lote, sublote, fecha, etc.) y almacenar las muestras de forma ordenada durante el tiempo especificado por la agencia.
- Realizar las pruebas de aceptación requeridas con la frecuencia indicada en las especificaciones de garantía de calidad.
- Realizar cualquier muestreo selectivo cuando sea necesario para ayudar a evaluar la calidad cuestionable o para confirmar que el producto es inaceptable.

- Realizar cualquier nuevo muestreo o nueva prueba que sea necesario de acuerdo con las directrices de la agencia o las especificaciones de control de calidad.

- Prepare y firme los formularios estándar de informe de pruebas de aceptación.
- Comparar los resultados de las pruebas de aceptación con los límites especificados y/o los límites de ingeniería indicados en las especificaciones de control de calidad de la agencia.
- Proporcione comentarios periódicos al director del proyecto/ingeniero residente y al ingeniero de materiales basándose en los resultados de las inspecciones y pruebas de aceptación sobre el terreno.
- Identificar cualquier trabajo deficiente a simple vista como resultado de una calidad de material inaceptable o una mano de obra inaceptable.
- Notificar al personal de control de calidad si la suspensión de la colocación en el campo de materiales no conformes parece estar motivada por el plan de control de calidad aprobado.
- Comunicarse con el personal de aceptación de la planta de producción para transmitir la información de las pruebas relativas al producto.
- Comunicarse con el personal de control de calidad del contratista para comunicar los resultados de las pruebas según sea necesario y proporcionar comentarios basados en la actividad de aceptación.

Actividades de aceptación posteriores a la colocación



AV Inspection of Post Pour PCC

Date of Review: _____ AV Inspector: _____ NETTCP Cert. No _____
Segment: _____ AV Sublot: _____ Date of Pour: _____

POUR LOCATION: _____

General Inspection

Date of Review:						
Time of Inspection:						
Days Elapsed Since Pour:						
Ambient Temperature:						
Cold Weather Concrete: (as defined by NETTCP)						
Hot Weather Concrete: (as defined by NETTCP)						
Concrete Surface Temp: (Min/Max Temp)						
Concrete Surface Condition: (Moist, SSD, Dry)						
Evaporation Prevention: (include type)						
Continuous Water Application: (include type)						
Concrete Heat Loss Prevention: (include type)						
Forms Removed (if 'YES' see below)						

KEY: Y = yes; N = no; NA = not applicable to work; NW = not witnessed; or as noted

Comments:

Date	Comment

Forms Removed (Visual Inspection)

Surface Discoloration/Damage: _____ Shrinkage Cracking: _____
Inappropriate Consolidation: _____ Excessive bugholes: _____
Pour Lines/ Cold Joints: _____ Spalling: _____

Other (Notes):

- Colocar todos los formularios de informe de control de calidad, los formularios de informe de inspección y los formularios de informe de pruebas completados en ***el libro de registro de aceptación***.
- Asegúrese de que toda la información (números aleatorios, ubicaciones de las muestras, resultados de las pruebas, observaciones visuales, control de calidad, etc.) se haya registrado en los formularios correspondientes.
- Prepare y envíe copias de los formularios de informe completados al director del proyecto, al ingeniero residente y al ingeniero de materiales.
- Limpie todo el equipo utilizado para las pruebas de aceptación antes de abandonar el lugar de trabajo.
- Realice cualquier trabajo preparatorio para el siguiente día de inspección de campo.

6.9 - Aceptación del trabajo completado

Ámbito de la determinación de aceptación

El último paso para cumplir el primer objetivo de aceptación de la agencia (es decir, la medición de la calidad) es determinar la aceptación del trabajo completado. La determinación de aceptación de la agencia debe basarse en la evaluación de:

- Información de la inspección de aceptación de la agencia.
- Los datos de las pruebas de aceptación de la agencia.
- Datos validados de las pruebas de control de calidad del contratista (si lo permite la agencia).

Es necesario realizar una evaluación tanto de la inspección como de las pruebas para tomar una decisión de aceptación completa
. Como se ha explicado anteriormente, la inspección visual para la aceptación es tan importante como el muestreo y las pruebas de aceptación. Por lo tanto, la agencia no debe centrarse únicamente en los datos de muestreo y pruebas en el proceso de determinación de la aceptación.

Es necesario analizar oportunamente los datos de aceptación para determinar el nivel de calidad medido de todos los materiales producidos y colocados. El proceso de determinar la aceptabilidad de los materiales, la calidad y la mano de obra debe realizarse a medida que se completa el trabajo, no después de que el proyecto se haya completado en su mayor parte. Por lo tanto, es importante que el personal de aceptación de la agencia evalúe todos los datos de aceptación (inspección de aceptación y pruebas de aceptación) en tiempo real. Esperar hasta que haya transcurrido un tiempo considerable (por ejemplo, hasta el final del mes o del proyecto) o hasta que se hayan producido o colocado cantidades significativas de material antes de evaluar la información de aceptación no dará como resultado un sistema de aceptación eficaz. En consecuencia, el director del proyecto/ingeniero residente de la agencia

debe asegurarse de que todos los datos de aceptación se evalúen periódicamente para proporcionar una valoración actualizada de la calidad de los materiales y la mano de obra.

Si bien es importante que el análisis de los datos de aceptación se realice en tiempo real, también es necesario disponer de datos suficientes (es decir, número de resultados de pruebas) para proporcionar un análisis significativo. Debido a la variabilidad inherente que se encuentra en cualquier lote de material producido o colocado, los resultados de las pruebas de una sola muestra de aceptación de la agencia (o incluso una muestra individual de control de calidad) no pueden utilizarse para determinar la calidad general del lote.
En su lugar, se deben utilizar múltiples valores de prueba de todo el lote (es decir, resultados de pruebas de sublotes) para caracterizar el lote de material.

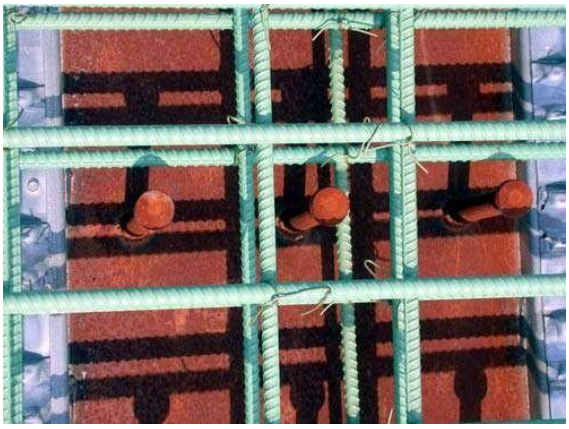
Es conveniente comunicar los resultados de la evaluación de los datos de aceptación al contratista de manera oportuna, ya que proporciona información, además de los datos de control de calidad del contratista, que confirma que cada producto tiene un nivel de calidad aceptable o que es deficiente. Este enfoque puede ayudar a evitar la identificación tardía de material no conforme que puede requerir medidas correctivas costosas o que puede dar lugar a disputas innecesarias.

Evaluación de la información de la inspección de aceptació

Como se ha expuesto anteriormente (sección 6.5), la agencia es responsabl de aceptación tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno. Los resultados de todas las actividades de inspección de aceptación (es decir, la observación visual y las mediciones de control) deben documentarse adecuadamente y utilizarse para determinar la aceptabilidad de los materiales y la mano de obra del producto.

La evaluación de la información de la inspección de aceptación se basa esencialmente en una comparación de los resultados de la inspección con los requisitos de materiales y mano de obra contenidos en los planes y especificaciones del proyecto. Todos los productos fabricados e instalados deben estar compuestos por materiales de características uniformes y presentar una mano de obra acabada que se acerque razonablemente al valor de aceptación especificado o al rango de aceptación.

La agencia evaluación de la aceptación incluirá una valoración de los materiales para comprobar que son del tipo correcto (por ejemplo, tamaño adecuado y recubrimiento epoxi de las barras de refuerzo, tipo correcto de mezcla HMA) y que las condiciones de colocación son adecuadas (por ejemplo, las barras de refuerzo epoxi están limpias y sin daños visibles, la mezcla HMA no está segregada). También incluirá la determinación de que todas las líneas, pendientes, secciones transversales y otras dimensiones acabadas se encuentran dentro de las tolerancias requeridas.



Esta evaluación puede ser a veces subjetiva y depender del criterio del personal de aceptación de la agencia. Por consiguiente, se recomienda que los criterios de aceptación basados en la inspección visual se incluyan en las especificaciones de control de calidad de la agencia de forma inequívoca y lo más objetiva posible. Algunas agencias de transporte han optado por implementar un sistema de puntuación o calificación. Sistema para la calidad de los materiales y la mano de obra del producto basado en la inspección visual de elementos de trabajo individuales. Si bien la adopción de este enfoque puede no eliminar por completo la subjetividad en la realización de la inspección visual, puede proporcionar una herramienta clara que tanto el personal de aceptación de la agencia como el personal de control de calidad del contratista puedan comprender para documentar y evaluar los resultados de la inspección de aceptación de la agencia.

Si la evaluación de la información de la inspección de aceptación por parte de la agencia indica que la calidad de los materiales y la mano de obra del producto proporcionados para un elemento de trabajo individual cumplen razonablemente todos los criterios establecidos en los planes y especificaciones del proyecto, la agencia debe concluir que el trabajo en cuestión es aceptable.

En caso de que la información de la inspección de aceptación identifique deficiencias en la calidad del material o en la mano de obra del producto, la agencia debe determinar la disposición adecuada del material en cuestión. El personal de aceptación debe seguir los procedimientos específicos descritos en las especificaciones de control de calidad para determinar la disposición del material o la mano de obra aparentemente inaceptables cuando se identifiquen. Los materiales o productos terminados

que presenten deficiencias deben aislarse y tratarse independientemente del resto del sublote y del lote en el que se encuentren. Si se cuestiona el alcance o la magnitud de la deficiencia aparente, la agencia o el contratista pueden utilizar muestreos y pruebas (cuando sea pertinente y posible) para ayudar a determinar la aceptabilidad de los materiales o del producto terminado. Los procedimientos de resolución de disputas también pueden ayudar en este proceso. Sin embargo, en todos los casos, la responsabilidad de tomar la decisión de aceptación recae en la agencia.

Evaluación de los datos de las pruebas para la aceptación

La agencia es responsable de realizar muestreos y pruebas de aceptación tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno, tal y como se ha presentado anteriormente en este capítulo (sección 6.6).
Los resultados de todos los muestreos y pruebas de aceptación de la agencia deben documentarse adecuadamente y utilizarse para medir la calidad del producto final.

Como se ha explicado anteriormente, la determinación final de la aceptación del producto utilizando los datos de muestreo y pruebas puede adoptar uno de los dos enfoques siguientes:

- Utilizar únicamente los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia.
- Incluir los resultados validados de las pruebas de control de calidad del contratista.

La conveniencia de reducir los riesgos tanto para el contratista como para la agencia es un fuerte incentivo para incluir más resultados de pruebas por lote. Cuanta más información imparcial se pueda recopilar sobre un producto, más probable será que las hipótesis que se formulen sobre el producto sean precisas. Por lo tanto, se anima a las agencias a aumentar la frecuencia de las pruebas de aceptación de la agencia o a incluir los resultados validados de las pruebas de control de calidad del contratista en la determinación de la aceptación.

Cuando se utiliza el segundo enfoque anterior, la agencia puede seleccionar una de las tres opciones permitidas siguientes para determinar su aceptación:

Opción A: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad + los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia para el lote.

Opción B: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad + las divisiones correlacionadas del contratista de los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia para el lote.

Opción C: incluir todos los resultados validados de las pruebas de control de calidad solo para el lote.

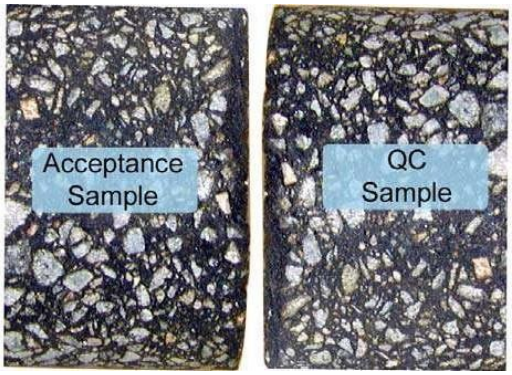
Los factores que tiene en cuenta una agencia al seleccionar una opción frente a las otras dos no se tratarán en este documento, ya que se trata esencialmente de cuestiones que deben ser consideradas por los redactores de las especificaciones de control de calidad. Sin embargo, cualquiera que sea la opción seleccionada por la agencia, debe identificarse y explicarse claramente en las especificaciones de control de calidad de la agencia.

Si se especifica alguna de las tres opciones anteriores para incluir los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista en la determinación de aceptación, la agencia debe asegurarse de que:

- La supervisión por parte de la agencia de la actividad de control de calidad del contratista confirma que el control de calidad se está llevando a cabo adecuadamente de acuerdo con el plan de control de calidad aprobado.
- El muestreo y las pruebas de correlación sean realizados por el personal de control de calidad del contratista y el personal de aceptación de la agencia antes de la producción del material.
- Se confirma que todos los resultados de las pruebas de control de calidad utilizados proceden de muestras aleatorias de control de calidad.
- Los resultados de las pruebas de control de calidad aleatorias se validan con los resultados de las pruebas de aceptación.

Cada uno de estos pasos es necesario para garantizar la validez de todos los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista incluidos en la determinación de aceptación. Incluso si la agencia decide no incluir datos aleatorios de control de calidad en la determinación de aceptación, el contratista debe cumplir los requisitos contenidos en el plan de control de calidad aprobado con el fin de proporcionar el nivel adecuado de control de calidad en todos los procesos de producción y colocación. Los procedimientos de muestreo y pruebas de correlación y validación se presentan en detalle en el capítulo 10. A continuación se explican brevemente ambos pasos.

Muestreo de correlación y pruebas



Con el fin de aumentar el nivel de confianza en el control de calidad del contratista, la agencia debe utilizar ***pruebas de correlación*** para comparar y correlacionar los resultados de las pruebas de aquellas características de calidad que se muestrearán y someterán a prueba para su uso en la decisión de aceptación. Las pruebas de correlación deben realizarse inicialmente en el proyecto (lo antes posible) en muestras divididas. El personal de aceptación prueba la mitad de la muestra de correlación y el personal de control de calidad prueba la otra mitad. A continuación, se analizan los resultados de las pruebas de correlación para determinar si existe alguna diferencia significativa entre ellos.

Un método de análisis de muestras correlacionadas consiste en comparar los resultados con las declaraciones de precisión que figuran en el procedimiento AASHTO o ASTM que se está llevando a cabo. Cuando los resultados se encuentran dentro de las tolerancias permitidas, se puede suponer que no hay diferencias ni en el equipo de ensayo ni en el procedimiento. Sin embargo, algunos organismos han establecido requisitos comparativos más estrictos. Otro método utilizado para verificar los resultados de múltiples muestras divididas (es decir, pares de muestras) es la ***prueba t pareada***. La evaluación de los resultados de las pruebas de muestras divididas en correlación mediante la prueba t pareada se utiliza para indicar el grado de diferencia en las medias de dos conjuntos de datos emparejados (con el fin de determinar la probabilidad de que ambos conjuntos de datos procedan de la misma población). Este método se describe detalladamente en el capítulo 10. Cuando los resultados de la prueba t pareada indican una diferencia significativa entre los resultados, se debe identificar y eliminar la fuente de la diferencia (el personal de prueba, el equipo o los procedimientos) para evitar discrepancias entre las pruebas de control de calidad del contratista y las pruebas de aceptación de la agencia.

Validación de los datos de control de calidad

Se utiliza un análisis ***de validación*** para indicar el grado de diferencia en las varianzas y las medias de dos conjuntos de datos (datos de aceptación de la agencia frente a datos de control de calidad del contratista) obtenidos de forma independiente a partir del mismo lote de material. La validación determina la probabilidad de que ambos conjuntos de datos provengan de la misma población (es decir, el lote) mediante el uso de una ***prueba F*** además de la prueba t. Si los resultados del proceso de validación indican que es probable que los conjuntos independientes de muestras (aceptación frente a control de calidad) tengan proceden de la misma población, se determina que lo s resultados de las pruebas de control de calidad del contratista están validados y pueden incluirse con los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia en la determinación de aceptación de la agencia. Si los resultados del proceso de validación indican que los dos conjuntos de muestras proceden de poblaciones diferentes, solo se utilizan los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia en la determinación de aceptación. En el capítulo 10 se puede encontrar más información sobre la validación y las pruebas F y t. Además, **el apéndice H** de este manual contiene el *Manual de implementación de la AASHTO para* la documentación *de garantía de calidad,* que proporciona ejemplos más detallados de la aplicación de las pruebas F y t.

Tal y como se indica en el *Manual de implementación de la AASHTO*, para que el análisis de validación sea significativo, ambos conjuntos de resultados de las pruebas (control de calidad y aceptación) deben proceder de muestras que:

- Obtenidas de forma aleatoria.
- Se muestrearon durante el mismo período de tiempo.
- Muestreados y analizados utilizando los mismos procedimientos de muestreo y análisis.

La capacidad del procedimiento de validación para identificar correctamente las diferencias entre dos conjuntos de resultados de pruebas también depende del número de resultados de pruebas que se comparan. Cuanto mayor sea el número de resultados de pruebas, mayor será la capacidad del procedimiento para identificar diferencias válidas. Por este motivo, se recomienda utilizar una mayor cantidad de pruebas de aceptación de la agencia en las primeras fases del proyecto. De este modo, se dispondrá de más datos para determinar si los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista son coherentes con las pruebas de aceptación de la agencia.

Evaluación de los resultados de las pruebas con análisis del nivel de calidad

La evaluación de la calidad general de un lote de material producido o colocado no debe centrarse en muestras individuales (n = 1).
Más bien, los resultados de las pruebas de varios sublotes se utilizan para evaluar la calidad del lote en relación con una característica de calidad individual. Las especificaciones de garantía de calidad indicarán la medida de calidad específica que se utilizará para evaluar los resultados de varias pruebas de aceptación de la agencia (y los resultados validados de las pruebas de control de calidad, si se permite). La medida de calidad que se suele especificar es el porcentaje dentro de los límites (PWL), que se determina mediante un procedimiento ***de análisis del nivel de calidad*** (QLA). El QLA es una herramienta matemática que examina la media de todos los resultados de las pruebas junto con la variabilidad de los resultados de las pruebas con respecto a los límites objetivo y de especificación para una característica de calidad individual. El procedimiento QLA se presenta en el capítulo 8. Como se explicó brevemente en el capítulo 4, los límites de especificación son límites estadísticos que se utilizan con el procedimiento QLA. Los límites de especificación solo tienen por objeto evaluar múltiples resultados de pruebas, no resultados de pruebas individuales.

Calidad aceptable del lote

Los requisitos específicos para la aceptación basados en la evaluación QLA de los resultados de las pruebas son establecidos por cada agencia en sus especificaciones de control de calidad. Sin embargo, el nivel de calidad objetivo establecido para la aceptación que garantiza el pago total (100 %) de una característica de calidad individual se fija normalmente en 90 o 95 PWL. Este valor se denomina ***nivel de calidad aceptable*** (AQL). La evaluación QLA que da como resultado un PWL superior al AQL (por ejemplo, de 96 a 100 PWL) también se acepta y, dependiendo de las disposiciones de las especificaciones de control de calidad, debe recibir un pago superior al 100 %.

Calidad del lote que requiere rechazo

Es importante que el director del proyecto o el ingeniero residente de la agencia estén completamente familiarizados con los requisitos de las especificaciones para determinar la aceptación del producto utilizando la QLA. Las especificaciones de control de calidad suelen estipular un nivel mínimo de calidad del material que debe cumplirse. Este valor se denomina ***nivel de calidad rechazable*** (RQL).

El material que está por debajo del AQL (por ejemplo, 90 PWL) y en o por encima del RQL (por ejemplo, 60 PWL) suele aceptarse, pero recibe menos del 100 % del pago. Los niveles de calidad por debajo del RQL (por ejemplo, 60 PWL) suelen dar lugar al rechazo del material por parte de la agencia.

Dicho material se identificará normalmente para su eliminación, para la adopción de medidas correctivas (si es posible) o para un pago reducido por el lote correspondiente.

Las especificaciones de control de calidad de la agencia suelen exigir la eliminación del lote cuando el QLA indica un PWL inferior al RQL. La eliminación de un lote de material permite al contratista realizar ajustes en el proceso de producción o colocación y volver a controlar el proceso. Una vez que el contratista ha demostrado que el proceso es capaz de producir material con un nivel de calidad aceptable, se establece un nuevo lote de material. El lote descartado seguirá requiriendo medidas correctivas o será sancionado, pero estas sanciones no se trasladarán al nuevo lote. La mayoría de las especificaciones de control de calidad permiten al contratista presentar una solicitud por escrito para que se permita que un lote que contenga material por debajo del RQL permanezca en su lugar a un precio reducido. Estas solicitudes suelen requerir que el contratista proporcione un análisis técnico que muestre los efectos previstos en el rendimiento del producto a largo plazo. A continuación, la agencia determinará si el material puede permanecer en su lugar con una reducción de precio adecuada o si debe retirarse.

Calidad del lote que requiere suspensión

Muchas especificaciones de control de calidad también prescriben una evaluación continua del nivel de calidad de un lote de material a lo largo de la producción o la colocación. Dichas especificaciones suelen definir un nivel mínimo de calidad para la aceptación provisional antes de que se complete el lote y se haya tomado la decisión final de aceptación correspondiente para el lote. El material del lote se considera aceptable siempre que la QLA indique que el material se encuentra entre el AQL (por ejemplo, 90 PWL) y un ***nivel de calidad de suspensión*** (SQL). Cuando la evaluación del QLA de los resultados de las pruebas de aceptación arroja un nivel de calidad inferior al SQL (por ejemplo, 70 PWL), la mayoría de las especificaciones de control de calidad exigen la suspensión de la producción o colocación del material hasta que las medidas correctivas y las pruebas posteriores confirmen que el PWL ha vuelto a situarse por encima del SQL (por ejemplo, 70 PWL).

La determinación provisional de la calidad del lote supone que los niveles de calidad se supervisan a lo largo de todo el proceso de producción y colocación del material. Lo ideal es que la QLA se realice a diario, una vez que se disponga de un número suficiente de resultados de pruebas (n > 4 o 5). Además, la frecuencia de la «comprobación» de la QLA debe indicarse en las especificaciones de control de calidad para evitar diferencias de opinión entre el contratista y la agencia en cuanto al nivel actual de calidad del lote. La evaluación final del QLA para la determinación de la aceptación del lote debe incluir todos los resultados válidos de las pruebas realizadas al lote.

Determinación de la aceptación con límites de ingeniería

La evaluación de los resultados de las pruebas individuales (n = 1) debe abordarse mediante el uso de ***límites técnicos***. Como se ha mencionado anteriormente y se explica brevemente en el capítulo 4, las especificaciones de control de calidad de la agencia también pueden incluir límites técnicos (a veces denominados límites de suspensión) con los que deben evaluarse los resultados de las pruebas de aceptación (o control de calidad) individuales para su aceptación. La razón para utilizar los límites de ingeniería es identificar el material cuyo valor medido supera el rango esperado de variabilidad inherente aceptable.

Si el resultado de una prueba de aceptación (o control de calidad) individual se encuentra fuera de los límites técnicos, no debe interpretarse automáticamente como una indicación de que el material producido o colocado es inaceptable. Las especificaciones de control de calidad pueden requerir pruebas de aceptación y pruebas de control de calidad adicionales para determinar la calidad real del sublote representado por el resultado de la prueba no conforme. La determinación final de la aceptación debe basarse en el muestreo y las pruebas complementarias. Es posible que sea necesario volver a trabajar el material del sublote afectado (si es posible), prohibir su colocación (si se encuentra durante la producción) o retirarlo (si ya se ha colocado en el campo).

6.10 - Determinación del pago al contratista

Mecanismos utilizados para determinar el pago al contratista

Como se mencionó anteriormente (Sección 6.1), el segundo de los dos objetivos principales del sistema de aceptación de la agencia es determinar el pago que debe recibir el contratista en función de la decisión de aceptación de la agencia.

Las especificaciones de garantía de calidad para cada elemento de trabajo (por ejemplo, HMA, PCC, suelos) suelen incluir disposiciones para determinar el pago en función de la calidad medida de los materiales producidos y colocados. Además, el pago puede estar vinculado a la idoneidad del sistema de control de calidad del contratista. Los tres mecanismos principales que se utilizan normalmente para determinar el pago al contratista en función de la calidad son los siguientes:

- La suficiencia supervisada de la actividad de control de calidad.
- La calidad inspeccionada de los materiales y la mano de obra.
- La calidad probada de los materiales.

A continuación se describen brevemente los enfoques típicos utilizados por las agencias para cada uno de estos mecanismos de pago. Sin embargo, el director del proyecto o el ingeniero residente de la agencia debe estar plenamente familiarizado con los requisitos específicos de la agencia para determinar el pago al contratista basándose en la información de la actividad de aceptación.

Medición y pago de las actividades de control de calidad

Como se explica detalladamente en el capítulo 5, la correcta implementación del control de calidad requiere que el contratista proporcione un sistema de control de calidad eficaz, que incluya:

- La preparación y aplicación de uno o varios planes de control de calidad.
- Inspección visual de control de calidad.
- Muestreo y pruebas de control de calidad.
- Desarrollo y uso de gráficos de control.
- Mantenimiento de un sistema de registros de control de calidad.

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias identifican cada una de estas actividades de control de calidad como un requisito contractual por el que la agencia paga y que debe cumplir el contratista.

El personal de aceptación de la agencia debe supervisar y documentar la idoneidad de cada una de estas actividades de control de calidad durante toda la duración de un proyecto de construcción. Las especificaciones de garantía de calidad suelen incluir uno de los dos enfoques siguientes para la medición y el pago del control de calidad del contratista:

- Partida de pago separada (suma global/precio unitario).
- Incluido en el elemento de pago para el elemento de trabajo principal.

Independientemente del enfoque que se utilice, el director del proyecto/ingeniero residente de la agencia debe asegurarse de que el personal de la agencia supervise y documente de forma rutinaria las actividades de control de calidad del contratista. La medición y el pago de la actividad de control de calidad deben determinarse para los pagos a cuenta y el pago final de acuerdo con los procedimientos específicos de las especificaciones de control de calidad de la agencia; sin embargo, a continuación se describen brevemente los dos enfoques anteriores.

Con el primer enfoque, el contratista recibe pagos a cuenta en virtud de un elemento de pago de control de calidad en proporción a la cantidad de material producido y colocado para el elemento de trabajo relacionado (por ejemplo, HMA, PCC, suelos, etc.), siempre que la agencia considere satisfactorias todas las actividades de control de calidad. Sin embargo, si la supervisión de la agencia del control de calidad del contratista detecta y documenta deficiencias en una o más de las actividades de control de calidad mencionadas anteriormente, las especificaciones de garantía de calidad pueden contener disposiciones que indiquen que el pago en virtud de la partida de pago para el control de calidad se ajustará utilizando una de las siguientes opciones:

- El pago de la partida de control de calidad se retiene temporalmente.
- Se realiza un pago reducido por el elemento de control de calidad.
- No se realiza ningún pago por el elemento de control de calidad.

Cuando el pago por la actividad de control de calidad es accesorio a la partida de pago del contrato para una partida de trabajo importante, las especificaciones de garantía de calidad deben establecer claramente los procedimientos para determinar los ajustes de pago a la partida de trabajo en relación con los resultados documentados de la supervisión del control de calidad por parte de la agencia. En caso de que alguna o todas las actividades de control de calidad del contratista sean deficientes, las disposiciones de las especificaciones pueden exigir que la agencia:

- Retener temporalmente el pago del elemento de trabajo.
- Aplicar un pago reducido (por ejemplo, xx %) para el elemento de trabajo.

Pago basado en la inspección de aceptación

El segundo mecanismo que se aplica normalmente en la determinación del pago al contratista es la información de la inspección de aceptación obtenida de forma independiente por la agencia. Como se ha comentado anteriormente (sección 6.9), los resultados de la inspección de aceptación sobre la calidad de los materiales y la mano de obra del producto deben documentarse adecuadamente y evaluarse periódicamente (es decir, por sublote u otra cantidad definida de material colocado) como parte de la

determinación de aceptación de la agencia. Si la información de la inspección de aceptación indica que una cantidad de material producido o colocado para un elemento de trabajo cumple todos los requisitos aplicables en cuanto a la calidad visual del material y la mano de obra, la cantidad correspondiente de material se determina como «Aceptada». La cantidad de elementos de trabajo aceptados normalmente recibe el pago del precio total del elemento de la oferta (es decir, el 100 % del pago), siempre que los resultados del muestreo y las pruebas de aceptación (que se describen a continuación) también indiquen que el material se encuentra en el nivel de calidad aceptable (AQL) o por encima de este.

Sin embargo, si la información de la inspección de aceptación de la agencia para cierta cantidad de un elemento de trabajo identifica deficiencias en la calidad del material o la mano de obra del producto, las especificaciones de control de calidad normalmente prescribirán los procedimientos adecuados para determinar el pago. Si la deficiencia es de tal magnitud que requiere el rechazo total del material (es decir, su retirada), las especificaciones suelen prever la no remuneración (es decir, el 0 % del pago) del material rechazado. Las especificaciones de la agencia también pueden incluir disposiciones para la realización de muestreos y pruebas. y/o un análisis de ingeniería (cuando sea pertinente y posible) para cuantificar la magnitud de la deficiencia identificada en la calidad del material o la mano de obra inspeccionados. En tales casos, la determinación del pago por la cantidad de material correspondiente podrá ser negociada por el contratista y la agencia.

Si la deficiencia no justifica el rechazo total, la agencia puede aplicar algún tipo de sistema de puntuación o calificación (como se menciona en la sección 6.9) para llegar a una medición cualitativa de la calidad del material o la mano de obra. Los resultados de dicha evaluación se utilizan entonces para determinar el pago. Las especificaciones de la agencia pueden asignar un importe de pago reducido específico como porcentaje del precio del artículo de la oferta del contrato, basado en la puntuación o el rango de calificación asignado por el personal de aceptación de la agencia.

Pago basado en muestreos y pruebas

El tercer mecanismo incluido en las especificaciones de control de calidad que se utiliza para determinar el pago al contratista por un elemento de trabajo producido y colocado es la calidad probada del material. Como se ha explicado anteriormente, el personal de la agencia realiza muestreos y pruebas de aceptación con la frecuencia suficiente para proporcionar una representación matemática significativa del material de un lote determinado. Los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia (y los resultados validados de las pruebas de control de calidad del contratista, si se permite) para las características de calidad individuales se evalúan para determinar la aceptación mediante un procedimiento de análisis del nivel de calidad (QLA) que determina el porcentaje dentro de los límites (PWL) para el lote. Basándose en el valor PWL calculado para el lote, la mayoría de las especificaciones de control de calidad suelen prever lo siguiente:

- Pago completo (es decir, 100 %).
- Pago reducido o desincentivo (por ejemplo, 85-99 %).
- Aumento del pago o incentivo (por ejemplo, 101-105 %).

Para que el contratista reciba el pago completo (100 %), el nivel de calidad del lote debe estar en el AQL (normalmente 90 PWL o 95 PWL). Si el nivel de calidad calculado del lote es inferior al valor del pago completo (por ejemplo, 89 PWL), pero es igual o superior al nivel de calidad rechazable (normalmente 60 PWL), se aplica una reducción del pago. Si el nivel de calidad del lote supera el valor del pago completo (por ejemplo, de 96 a 100 PWL), se concede un aumento del pago.

Una vez que se conoce el nivel de calidad (es decir, PWL) del lote, se puede determinar el ***factor de pago*** correspondiente. Los factores de pago se obtienen utilizando:

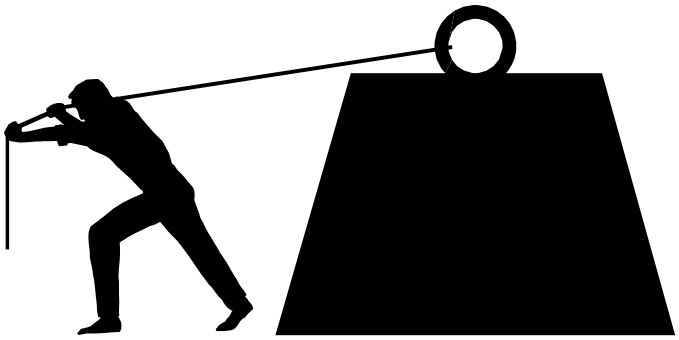
- Tablas de factores salariales
- Fórmulas de factores salariales
- Curvas de factores de pago

Dado que se utilizan múltiples características de calidad de aceptación para evaluar la calidad del material en cada lote, se determina un factor de pago independiente para cada característica de calidad. La mayoría de las agencias suelen combinar los factores de pago individuales de cada característica de calidad en un ***factor de pago compuesto***.

Existen varios enfoques para combinar los factores de pago individuales de cada característica de calidad en un factor de pago compuesto, entre los que se incluyen los siguientes:

- Utilice únicamente el factor salarial individual mínimo.
- Utilice la media (promedio) de los factores salariales individuales.
- Utilice el producto (es decir, multiplique) de los factores salariales individuales.
- Utilizar la suma (es decir, sumar) de los ajustes salariales individuales.

En el «enfoque de promedio», a cada característica de calidad se le asigna normalmente una ponderación que se aplica al factor de pago correspondiente. A continuación, los factores de pago ponderados individuales se combinan para formar el factor de pago compuesto.



El ajuste salarial final para un elemento de trabajo (por ejemplo, HMA, PCC, suelos, etc.) se calcula multiplicando el factor salarial (o factor salarial compuesto) por el precio unitario del contrato y la cantidad del lote para el elemento de trabajo. En el capítulo 10 se presentan ejemplos de procedimientos para determinar los factores salariales y los ajustes salariales.

6.11 - Registros de aceptación

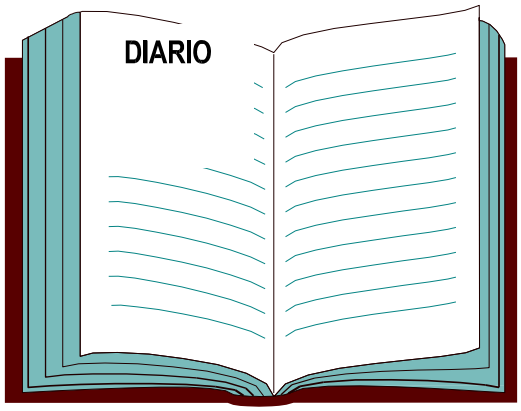
Objetivo del sistema de registros de aceptación de la agencia

Como se ha mencionado anteriormente, todas las actividades de aceptación de la agencia (es decir, la supervisión del control de calidad del contratista, la inspección de aceptación, el muestreo y las pruebas de aceptación) realizadas tanto en las instalaciones de producción como en los lugares de colocación sobre el terreno deben documentarse adecuadamente. Por consiguiente, ***un sistema de registros de aceptación*** bien diseñado y mantenido adecuadamente es una parte importante del sistema de aceptación de cada agencia.

El objetivo principal del sistema de registros de aceptación es proporcionar un proceso racional para organizar, evaluar, almacenar y recuperar toda la documentación de aceptación.
La organización del sistema de registros de aceptación debe facilitar la revisión inmediata, a nivel ejecutivo, de la información pertinente, como los resultados del control diario de la actividad de control de calidad por parte de la agencia o un resumen de todos los muestreos y pruebas de aceptación para las características de calidad requeridas. También debe permitir la recopilación y el almacenamiento de los documentos individuales (en papel o electrónicos) que registran los resultados de la supervisión de la actividad de control de calidad por parte de la agencia, los resultados de las inspecciones de aceptación individuales y los resultados de las pruebas de aceptación, proporcionando así un registro completo de toda la información utilizada por la agencia en su determinación de aceptación para cada proyecto de construcción.

Los registros de aceptación suelen ser mantenidos por diversos miembros del personal de la agencia que forman parte del equipo de aceptación del proyecto, de conformidad con los procedimientos establecidos en el programa de control de calidad de la agencia. Si bien cada agencia de transporte puede tener un enfoque ligeramente diferente para recopilar, almacenar, analizar o presentar la información de aceptación, a continuación se analizan los componentes clave típicos que se incluyen en un sistema eficaz de registros de aceptación de la agencia.

Registro diario del proyecto

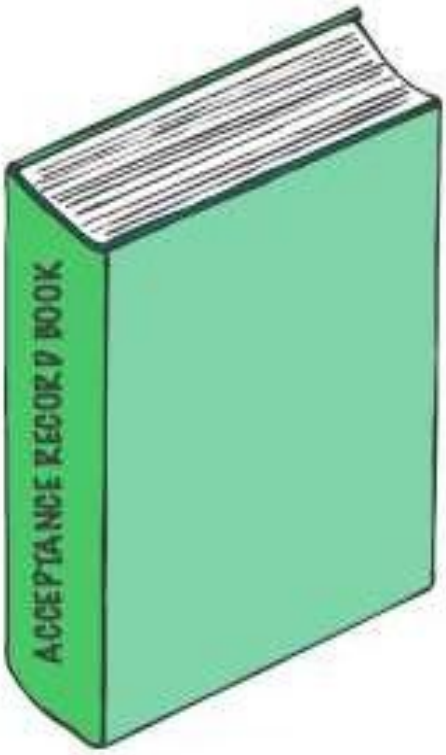


El director del proyecto o el ingeniero residente de cada proyecto de construcción de transporte debe llevar un ***diario diario del proyecto***. El diario diario del proyecto debe utilizarse para documentar todas las actividades o acciones importantes relacionadas con el sistema de aceptación de la agencia que se producen cada día en las instalaciones de producción o en los lugares de colocación sobre el terreno.
El diario no pretende replicar ni sustituir los formularios de informe de inspección o de informe de pruebas individuales, sino que sirve como
registro resumido de las acciones clave llevadas a cabo por el personal de aceptación de la agencia.

El tipo de información que se suele registrar en el diario diario del proyecto incluye:

- Las condiciones meteorológicas o ambientales del día.
- Resumen de las actividades de producción o colocación completadas.
- Cualquier problema de calidad identificado por el personal de control de calidad del contratista o por los miembros del equipo de aceptación de la agencia.
- Cualquier medida correctiva recomendada o adoptada por el personal de control de calidad o el personal de aceptación de la agencia.
- Reuniones o conversaciones mantenidas con el personal de producción, el personal de control de calidad o el personal de la agencia del contratista.
- Visitantes a las instalaciones del proyecto de producción de materiales o colocación sobre el terreno.

Libro de registro de aceptación

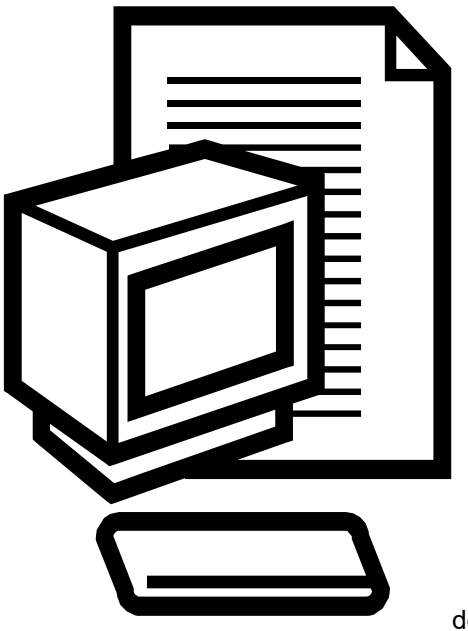


El personal de aceptación de la agencia debe mantener un ***libro de registro de aceptación*** para cada elemento de trabajo importante que se produzca y coloque en el proyecto.
La función del Libro de registro de aceptación es almacenar todos los documentos formales de aceptación utilizados o preparados por el personal de aceptación para cada operación de producción y colocación de cada elemento de trabajo individual. El mantenimiento del Libro de registro de aceptación es responsabilidad del director del proyecto/ingeniero residente (o del personal de aceptación bajo la dirección inmediata del director del proyecto/ingeniero residente). El director del proyecto/ingeniero residente debe mantener un registro completo de todas las actividades de muestreo, ensayo, inspección y supervisión de la aceptación. No es necesario mantener registros en papel si se encuentran en un formato electrónico adecuado. Sin embargo, se debe conservar la documentación original. Ya sea en papel o en formato electronico

Aunque hoy en día se hace un mayor uso de los ordenadores para registrar la información, a menudo no es posible ni práctico utilizar un sistema completamente sin papel. Cuando los registros en papel constituyen parte o la totalidad de la documentación, se recomienda a los organismos que conserven los registros impresos (originales o copias) de todos los documentos de aceptación en un formato protegido, como una carpeta de tres anillas o varias carpetas, especialmente mientras el proyecto esté activo. Los libros de registro de aceptación deben conservarse en la oficina del PM/RE, en un lugar fácilmente accesible para todos los miembros del equipo de aceptación. También se puede utilizar un sistema de carpetas/archivos en papel, normalmente una vez finalizado el proyecto.

El libro de registro de aceptación de cada elemento de trabajo debe contener los siguientes documentos:

- Copia firmada del plan de control de calidad actual aprobado del contratista.
- Originales firmados o copias de todos los formularios de informe de supervisión de control de calidad completados.
- Originales firmados o copias de todos los formularios de informe de inspección de aceptación completados.
- Originales firmados o copias de todos los formularios de ubicación de muestreo aleatorio completados.
- Originales firmados o copias de todos los formularios de informe de pruebas de aceptación completados (además de los formularios de informe de pruebas de control de calidad si los resultados de las pruebas de control de calidad se utilizan en la determinación de la aceptación).
- Copia actualizada o impresión de todos los análisis de nivel de calidad realizados.
- Resúmenes actuales de todos los resultados de pruebas de aceptación individuales (más los resultados de pruebas de control de calidad si se incluyen en la determinación de la aceptación) hasta la fecha (por lote y sublote).
- Hojas resumen de las cantidades de material producido o colocado (por lote y sublote).

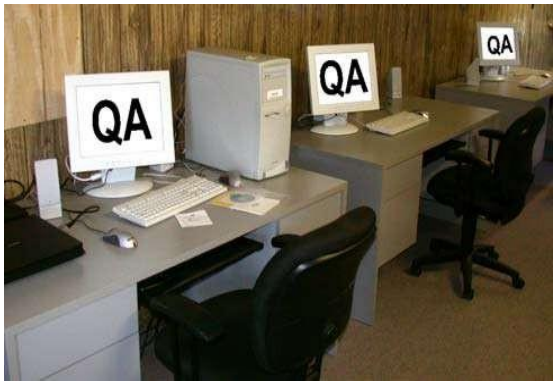


Cada unidad del equipo de aceptación de la agencia (es decir, PM/RE, personal de aceptación de las instalaciones de producción, personal del laboratorio de materiales del distrito/central) que participe en un proyecto de construcción determinado debe conservar las copias originales de sus documentos de aceptación en su propio libro de registro de aceptación o en un sistema similar. Sin embargo, los libros de registro de aceptación que mantiene el PM/RE deben servir como «libro maestro de registro de aceptación» y deben incluir copias de la documentación de aceptación preparada por otros miembros del equipo de aceptación, incluidas las de todas las operaciones de producción fuera del sitio, así como las de todos los laboratorios de aceptación de la agencia. El gerente de proyecto/ingeniero residente de la agencia de la agencia debe asumir la responsabilidad principal de todas las actividades de aceptación del proyecto y estar plenamente al tanto del estado de la calidad de todos los materiales

producidos y colocados para el proyecto. El libro de registro de aceptación de cada operación de producción fuera de la obra (por ejemplo, producción de HMA o PCC, fabricación de hormigón pretensado) debe ser mantenido por el personal de aceptación en el lugar de producción. Los técnicos/inspectores de aceptación de campo suelen presentar sus registros de aceptación al PM/RE para que los incluya en el «Libro maestro de registro de aceptación» en la obra del proyecto.

Todos los documentos de aceptación requeridos deben colocarse en el libro o libros de registro de aceptación de manera oportuna. Esto es para garantizar que los registros estén disponibles en tiempo real para que el personal de la agencia los utilice en la evaluación de la calidad medida de todos los materiales producidos y colocados. Los procedimientos de la agencia pueden especificar un plazo máximo para completar los documentos de aceptación e introducirlos en el libro de registro. Como regla general, se recomienda que el personal de aceptación se asegure de que todos los registros de aceptación requeridos (originales o copias) se coloquen en el libro de registro de aceptación correspondiente en un plazo de 24 a 48 horas después de su cumplimentación.

Base de datos de aceptación de la agencia



Un sistema completo de registros de aceptación debe permitir un fácil acceso a los datos de aceptación por parte del director del proyecto/ingeniero residente y el personal inmediato, así como a otros miembros externos del equipo de aceptación de la agencia. También debe permitir el acceso seguro del personal de control de calidad del contratista, según sea necesario, para compartir la información de aceptación.

En consecuencia, la mayoría de las agencias han establecido algún tipo de ***base de datos de aceptación*** para el almacenamiento, el análisis y la recuperación de los datos de muestreo, ensayo e inspección de aceptación. Las bases de datos de aceptación suelen estar diseñadas para evaluar los niveles de calidad de la producción o la colocación (por ejemplo, el análisis del nivel de calidad) y proporcionar resúmenes de los resultados de las pruebas de aceptación o la información de las inspecciones de aceptación hasta la fecha.

Las bases de datos de aceptación pueden desarrollarse utilizando software de bases de datos estándar o pueden personalizarse para satisfacer las necesidades individuales de la agencia. Lo ideal es que su diseño permita compartir datos entre el director del proyecto/ingeniero residente, otros miembros del equipo de aceptación de la agencia y el contratista. Dadas estas necesidades paralelas, suele ser ventajoso utilizar una base de datos de aceptación desarrollada con una plataforma de software estándar utilizada por todos los miembros del equipo de aceptación de la agencia y que pueda proporcionarse a los contratistas o adquirirse a un precio razonable.

La seguridad de los datos es obviamente importante para proteger los datos originales una vez introducidos en la base de datos de aceptación. Se puede proporcionar acceso a la base de datos de aceptación a terceros (personal de otras agencias o contratistas) en modo de solo lectura o con restricciones similares. O, en lugar de proporcionar acceso directo a la base de datos de control de calidad, la agencia puede compartir archivos que contengan datos de aceptación. El intercambio de datos puede realizarse a través de una red de área local (LAN), un sistema de intranet o una conexión a Internet.

Envío de registros de aceptación al contratista

Los procedimientos del programa de control de calidad de la agencia o las especificaciones de control de calidad pueden exigir que la agencia envíe periódicamente copias de algunos registros de aceptación al contratista para su información. Los resultados de los muestreos y ensayos de aceptación se suelen compartir con el personal de control de calidad del contratista, especialmente si la agencia permite que los resultados validados de los ensayos de control de calidad del contratista se incluyan en la determinación de aceptación.

Incluso si los procedimientos de la agencia o las especificaciones de control de calidad no lo exigen específicamente, se anima al personal de aceptación de la agencia a compartir periódicamente con el contratista copias de los resultados de sus muestreos, pruebas e inspecciones de aceptación. Esto ayuda a garantizar que el personal del contratista esté al tanto del estado de los resultados de aceptación de la agencia, ya sean positivos o negativos. La presentación oportuna de los registros de aceptación al contratista mejorará la comunicación y puede ayudar a evitar posibles

puntos de conflicto o disputa. Como regla general, se recomienda que los registros de aceptación de la agencia, en particular los formularios de informe de pruebas de aceptación y los formularios de informe de inspección, se envíen al personal de control de calidad correspondiente en el plazo de un día hábil tras la finalización de la actividad de aceptación y la documentación correspondiente.

Certificación de aceptación de materiales

Los procedimientos de la agencia de transporte pueden exigir que se prepare una ***certificación de aceptación de materiales*** tras la aceptación final por parte de la agencia de todos los materiales producidos y colocados en un proyecto individual. La certificación de aceptación de materiales es utilizada por la agencia para acreditar que la calidad de los materiales y la mano de obra de todos los elementos de trabajo de un proyecto cumplen los requisitos de aceptación establecidos por la agencia.

Este documento puede utilizarse para cumplir con los procedimientos internos de la agencia o para cumplir con los requisitos reglamentarios asociados con las fuentes de financiación del proyecto. Por ejemplo, en todos los proyectos de carreteras con ayuda federal, es obligatorio (23 CFR 637.205(d)) que la agencia de transporte prepare y presente una Certificación de Aceptación de Materiales a la FHWA. Dichos documentos de certificación, cuando son necesarios, suelen ser preparados por el ingeniero de materiales de la agencia o por el personal de aceptación designado.

- FIN DEL CAPÍTULO 6 -

CAPÍTULO 7

Términos y reglas matemáticas clave

Capítulo 7

Términos y reglas matemáticas clave

Resumen del capítulo

En este capítulo se explicarán los siguientes términos y reglas matemáticas clave:

7.1 - Media de la distribución de probabilidad.

7.2 - Desviación

7.3 - Rango de la media

7.4 - Varianza estadística

7.5 - Desviación estándar

7.6 - Precisión, exactitud y sesgo de medición

7.7 - Repetibilidad y reproducibilidad estadística

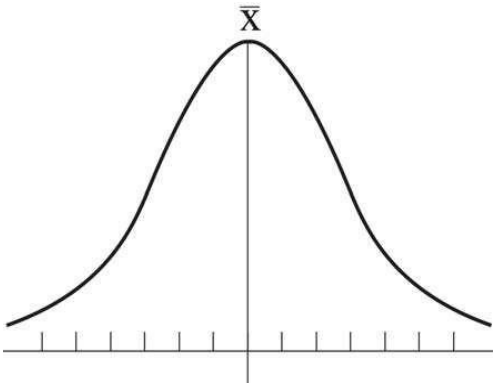
7.8 - Cifras significativas

7.9 - Redondeo de la medición

7.1 - Media

Definición de media

La medida matemática principal utilizada para describir la tendencia central de una distribución de mediciones o valores de prueba es la ***media***. La media coincide con el centro o punto medio de una curva de distribución normal. En consecuencia, la media se define de la siguiente manera:

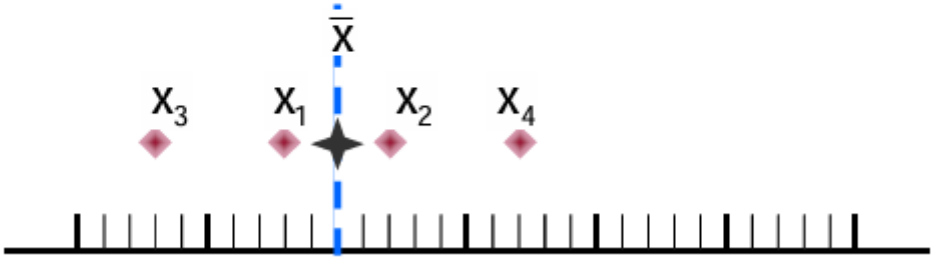


Media: «La media aritmética de un conjunto de mediciones o valores de prueba».

Cálculo de la media

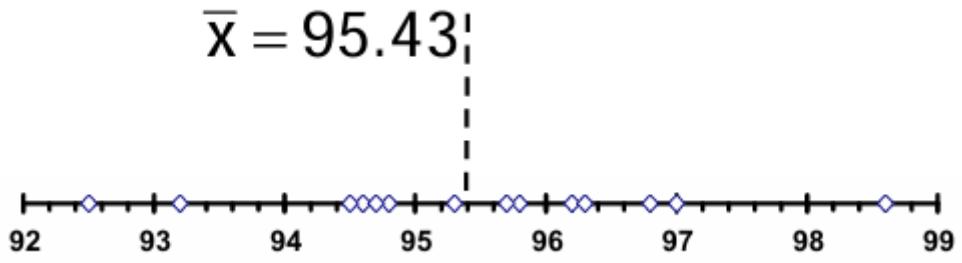
La media se denota con una X con una barra encima ($\overline{X}$) y se denomina «x-barra». La media ($\overline{X}$) de una muestra estadística se calcula sumando todos los valores de prueba de la muestra de material individual (X_i) de la muestra estadística y dividiendo la suma ($\sum$) de esos valores de prueba porel número de muestras (n).

$$\overline{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots x_n}{n}$$



Ejemplo 7-A: Se realizaron catorce (14) ensayos de densidad in situ en un proyecto. Se registraron los valores individuales de los catorce ensayos y se calculó la media, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

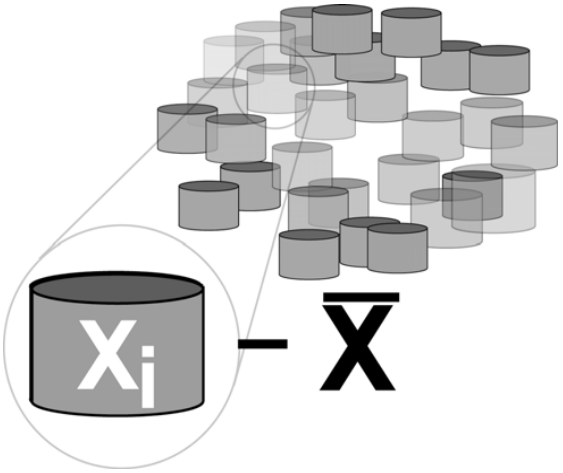
Número de muestra	Valor de la prueba (x_i)
X_1	95,8
X_2	94,6
X_3	93,2
X_4	97,0
X_5	96,2
X_6	94,8
X_7	95,3
X_8	95,7
X_9	96,8
X10	98,6
X11	92,5
X12	94,5
X13	96,3
X14	94,7
Suma ($\sum$) de los valores de la prueba :	1336
Número de muestras (n):	14
Media ($\bar{X}$) =	**95,43**



7.2 - Desviación

Definición de desviación

Una medida simple utilizada para expresar cuánto varía el valor de una muestra individual de la media de un conjunto de mediciones o valores de prueba se denomina ***desviación***. En consecuencia, el término desviación se define de la siguiente manera:



> **Desviación**: «La diferencia entre un valor individual y la media de un conjunto de valores medidos o probados».

La desviación también se utiliza a veces para expresar la diferencia entre los valores medidos o probados y los valores objetivo o los niveles previstos.

Cálculo de la desviación

Las desviaciones para una muestra estadística (es decir, múltiples muestras) se calculan restando la media ($\overline{X}$) de la muestra estadística de los valores de prueba de la muestra individual (x_i) en la muestra estadística.

$$\text{Desviación} = (x_i - x)$$

Las desviaciones se utilizan para determinar otras medidas matemáticas de la dispersión de los valores de prueba, como se presenta más adelante.

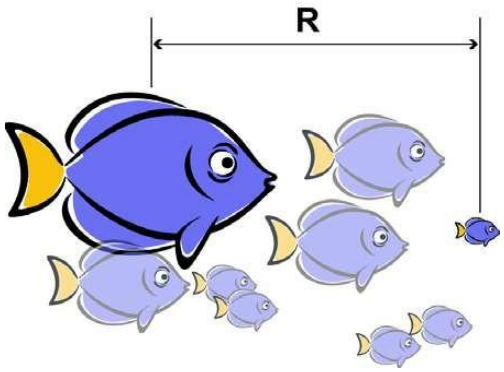
Ejemplo 7-B: La desviación para cada una de las catorce muestras de densidad in situ registradas en el ejemplo 7-A se calcula como se muestra en la tabla siguiente.

Número de muestra	Valor de prueba (x_i)	Media ($\bar{x}$)	Desviación ($x_i - \bar{x}$)
X_1	95,8	95,43	**0,37**
X_2	94,6	95,43	**-0,83**
X_3	93,2	95,43	**-2,23**
X_4	97,0	95,43	**1,57**
X_5	96,2	95,43	**0,77**
X_6	94,8	95,43	**-0,63**
X_7	95,3	95,43	**-0,13**
X_8	95,7	95,43	**0,27**
X_9	96,8	95,43	**1,37**
X10	98,6	95,43	**3,17**
X11	92,5	95,43	**-2,93**
X12	94,5	95,43	**-0,93**
X13	96,3	95,43	**0,87**
X14	94,7	95,43	**-0,73**

7.3 - Rango

Definición de rango

La medida más simple de dispersión (es decir, variabilidad) que se puede determinar para un conjunto de mediciones o valores de prueba es el ***rango***. El rango se define de la siguiente manera:



> **Rango**: «La diferencia entre el valor individual más alto y el valor individual más bajo en un conjunto de valores medidos o probados».

Cálculo del rango

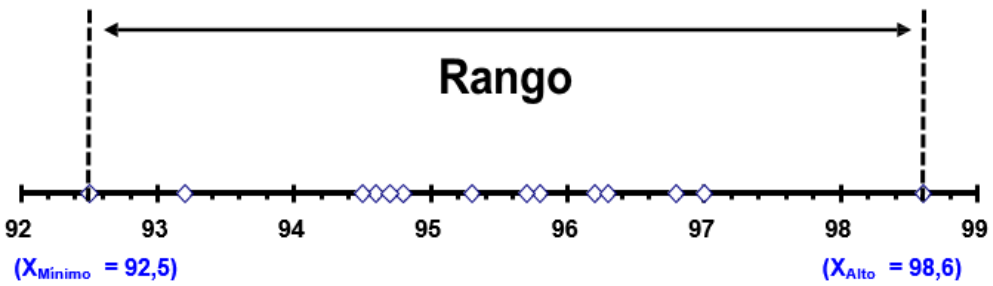
El rango se denota con el término **«R»**. El rango (R) para una muestra estadística (es decir, múltiples muestras) se calcula restando el valor de prueba de muestra más bajo (x_{Bajo}) en la muestra estadística del valor de muestra más alto (x_{Alto}) en la muestra estadística.

$$R = (X_{Alto} - X_{Bajo})$$

Aunque se trata de una medida única y fácil de determinar, su principal inconveniente es que no utiliza toda la información (es decir, los valores de la muestra) disponible en la muestra estadística. Dado que el rango solo tiene en cuenta los dos valores extremos, no proporciona ninguna medida de la dispersión de los demás valores de la muestra estadística, salvo para indicar que se encuentran entre los extremos. Se utiliza normalmente en aplicaciones de gráficos de control, que se tratarán en el capítulo 9.

Ejemplo 7-C: El rango para las catorce (14) muestras de densidad in situ registradas en el ejemplo 7-A se calcula como se muestra en la tabla siguiente.

Número de muestra	Valor de prueba (x_i)
X_1	95,8
X_2	94,6
X_3	93,2
X_4	97,0
X_5	96,2
X_6	94,8
X_7	95,3
X_8	95,7
X_9	96,8
X10	98,6
X11	92,5
X12	94,5
X13	96,3
X14	94,7
Valor máximo de la muestra ($x_{Máximo}$):	**98,6**
Valor mínimo de la muestra ($x_{Mín.}$):	**92,5**
Rango (R) =	**6,1**



7.4 - Variación

Definición de varianza

Otra medida matemática de la dispersión es la ***varianza***. Mientras que el rango proporciona un indicador de la dispersión de los valores medidos o probados desde el valor más alto al más bajo, la varianza analiza la desviación global de los valores con respecto a la media. Por consiguiente, la varianza se define de la siguiente manera:

> **Varianza**: «Medida de la dispersión de un conjunto de valores con respecto a su media, expresada como una función de la suma de todas las desviaciones al cuadrado con respecto a la media».

Cálculo de la varianza

La varianza de una muestra estadística se denota con el término **«s^2 »**. La varianza (s^2) de una distribución de valores de prueba de muestra se calcula elevando al cuadrado cada desviación de la media $(x_i - \bar{x})^2$, sumando estos cuadrados y dividiendo su suma ($\sum$) por el número de muestras (n) menos uno.

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Una versión alternativa de la fórmula para la varianza es la siguiente:

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \ldots (x_n - \bar{x})^2}{n-1}$$

Por lo tanto, la varianza proporciona una idea de cómo se dispersan los resultados de la prueba alrededor de la media. Se utiliza al comparar (validar) los resultados de las pruebas de muestras de contratistas y agencias, tal y como se describe en el capítulo 10.

Ejemplo 7-D: La varianza de las catorce (14) muestras de densidad in situ registradas en el ejemplo 7-A se calcula como se muestra en la tabla siguiente.

Número de muestra	**Valor de la prueba (x_i)**	**Desviación** $(x_i - \bar{x})$	**Desviación al cuadrado** $(x_i - \bar{x})^2$
X_1	95,8	0,37	**0,1369**
X_2	94,6	-0,83	**0,6889**
X_3	93,2	-2,23	**4,9729**
X_4	97,0	1,57	**2,4649**
X_5	96,2	0,77	**0,5929**
X_6	94,8	-0,63	**0,3969**
X_7	95,3	-0,13	**0,0169**
X_8	95,7	0,27	**0,0729**
X_9	96,8	1,37	**1,8769**
X10	98,6	3,17	**10,0489**
X11	92,5	-2,93	**8,5849**
X12	94,5	-0,93	**0,8649**
X13	96,3	0,87	**0,7569**
X14	94,7	-0,73	**0,5329**
Suma (∑) de la desviación al cuadrado:			**32,0086**
Número de muestras menos uno (n - 1):			**13**
Varianza (s^2) =			**2,4622**

7.5 - Desviación estándar

Definición de desviación estándar

Otro indicador que denota una medida de dispersión o variación, y que se deriva de la varianza, es la ***desviación estándar***. La desviación estándar proporciona una medida de la desviación media de los valores individuales de la muestra con respecto a la media.
En consecuencia, la desviación estándar se define de la siguiente manera:

> **Desviación estándar**: «Una medida de la variabilidad de un conjunto de valores que se representa mediante la raíz cuadrada principal de la varianza».

Cálculo de la desviación estándar

La desviación estándar de una muestra estadística se denota con el término **«s»**. La desviación estándar (s) se calcula tomando la raíz cuadrada de la varianza (s^2) de una distribución de valores de prueba de la muestra. La desviación estándar tiene las mismas unidades que los valores de prueba originales de la muestra.

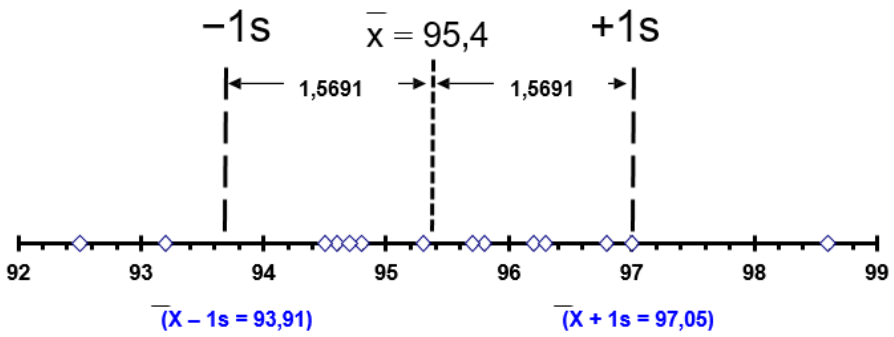
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{or} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Normalmente, en la construcción de infraestructuras de transporte se utiliza la fórmula empleada para la desviación estándar de una muestra estadística. Si el número (n) de muestras aleatorias que componen una muestra estadística es superior a 30, las agencias pueden utilizar la desviación estándar de la población (σ). La desviación estándar de una población se representa con el símbolo «σ». Cabe señalar que la fórmula matemática para la desviación estándar de la población utiliza un factor «n» en el denominador, mientras que la fórmula matemática para la desviación estándar de una muestra estadística utiliza «n – 1» en el denominador.

A los efectos de este manual, el usuario utilizará normalmente la desviación estándar de la muestra estadística (s), que se utiliza para un número reducido de muestras (n < 30).
Los tamaños de muestra estadística de n < 30 se encuentran típicamente en la construcción de transporte.

Ejemplo 7-E: La desviación estándar (s) para las catorce (14) muestras de densidad in situ registradas en el ejemplo 7-A se calcula como se muestra en la tabla siguiente. La desviación estándar se calculó y se representó en el gráfico siguiente.

Varianza:	**2,4622**
Desviación estándar (s) =	**1,5691**
Media – s =	**95,48 – 1,5691 = 93,91**
Media + s =	**95,48 + 1,5691 = 97,05**



7.6 - Precisión, exactitud y sesgo

Los valores reales de las pruebas de muestras de materiales obtenidos en la construcción de transportes reflejan errores de medición, así como variaciones en la calidad medida. Tres términos clave de medición que se utilizan para describir la calidad de los datos de las pruebas de muestras y que se encuentran en los métodos de prueba de la AASHTO y la ASTM, así como en las especificaciones de garantía de calidad, son precisión, exactitud y sesgo. A continuación se explica cada uno de estos términos.

Definición de precisión

El término ***«precisión»*** se refiere a la variabilidad de un método de medición cuando se utiliza para realizar mediciones repetidas en condiciones cuidadosamente controladas.
Se refiere al grado de refinamiento o repetibilidad de una medición. En consecuencia, la precisión se define en el *Glosario de términos de garantía de calidad del TRB* y en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

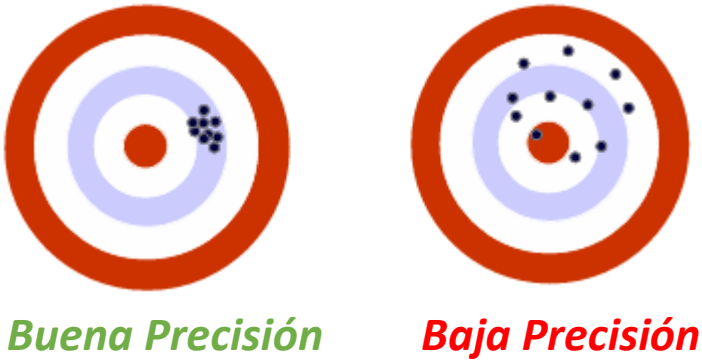
> **Precisión**: «(1) El grado de concordancia entre una serie de mediciones seleccionadas al azar. (2) El grado en que las pruebas o mediciones realizadas en muestras idénticas tienden a producir los mismos resultados».

La precisión se define además en la norma ASTM como «un concepto genérico relacionado con la proximidad de la concordancia entre los resultados de las pruebas obtenidos en condiciones similares prescritas a partir del proceso de medición que se evalúa».

Veamos algunos resultados de pruebas de una muestra estadística que se han representado en un blanco. El blanco presenta un patrón ajustado de resultados de pruebas.

Cuando se comprueba que las mediciones repetidas de las pruebas producen resultados muy similares entre sí, tenemos un alto nivel de precisión (buena precisión).

Por el contrario, cuando se comprueba que las mediciones repetidas producen resultados que varían sustancialmente entre sí, tenemos un bajo nivel de precisión (precisión deficiente).



Definición de exactitud

El término ***exactitud*** se refiere a la ausencia de sesgo en una medición. Representa el grado de conformidad de la medición con el valor real de la característica de calidad que se está midiendo. En consecuencia, la exactitud se define en el *Glosario de términos de garantía de calidad del TRB* y en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

> **Exactitud**: «El grado en que una medición, o la media de una distribución de mediciones, tiende a coincidir con la media real de la población».

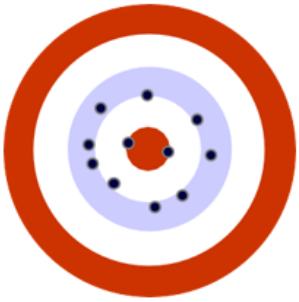
Cuando se desconoce la media *real* de la población (como en el caso de una muestra estadística), se puede utilizar el grado de concordancia entre las mediciones observadas y una norma de referencia aceptada para cuantificar la exactitud de las mediciones.

La precisión se define además en la norma ASTM como «un concepto genérico de exactitud relacionado con la proximidad entre la media de uno o más resultados de ensayo y un valor de referencia aceptado».

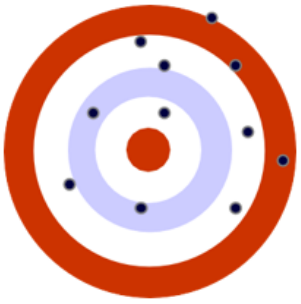
Aunque a menudo se utilizan indistintamente, los términos «exactitud» y «precisión» no significan lo mismo. En ingeniería, la exactitud denota la proximidad a la verdad o a algún valor aceptado como verdad, mientras que la precisión se refiere al grado de refinamiento o repetibilidad de una medición.

Veamos un conjunto de resultados de pruebas de otra muestra estadística que se ha representado en un blanco. El blanco indica resultados de pruebas que están dispersos y, sin embargo, se agrupan uniformemente alrededor del centro.

Cuando se comprueba que las mediciones repetidas de las pruebas producen resultados muy agrupados alrededor del centro de la diana o del valor de referencia, tenemos un alto nivel de exactitud (buena exactitud). Por el contrario, cuando se comprueba que las mediciones repetidas producen resultados que varían sustancialmente del valor de referencia o de la diana, tenemos un bajo nivel de exactitud (mala exactitud).



Buena Exactitud



Baja Exactitud

Definición de sesgo

El término ***«sesgo»*** se refiere a un error, constante en su dirección, común a cada uno de los valores de una serie de pruebas, que no puede eliminarse mediante ningún proceso de promediado. Indica una falta constante de conformidad de las mediciones con el valor real de la característica de calidad que se está midiendo. En consecuencia, el sesgo se define en el *Glosario de términos de garantía de calidad del TRB* y en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

> **Sesgo**: «Error, constante en su dirección, que hace que una medición, o la media de una distribución de mediciones, se desvíe de la media real de la población».

La ASTM define además el sesgo como «un concepto genérico relacionado con una diferencia constante o sistemática entre un conjunto de resultados de pruebas del proceso y un valor de referencia aceptado de la propiedad que se está midiendo».

Ahora, comparemos los resultados de las pruebas de dos muestras estadísticas independientes que se han representado en dos dianas separadas. La primera diana indica resultados de pruebas dispersos, pero muy cercanos al centro. La otra diana tiene un patrón más ajustado de resultados de prueba, pero todos los resultados están agrupados lejos del centro. Los resultados de la prueba en la primera diana representan un mayor nivel de exactitud (buena exactitud), mientras que los resultados en la segunda diana indican una mayor precisión (buena precisión) con un sesgo definido.

Un instrumento con sesgo, pero con buena precisión, a menudo se puede ajustar física o matemáticamente para proporcionar mediciones individuales fiables. Un instrumento que produce resultados dispersos, pero con buena exactitud, se puede utilizar si se realizan suficientes mediciones para obtener una media válida.

Ejemplo 7-F: Como ejemplo, consideremos la medición de la temperatura del agua hirviendo (100 °C) a presión atmosférica estándar con dos termómetros.
Se tomaron cinco lecturas separadas para cada termómetro y se determinó la media de los valores registrados. Los resultados de cada termómetro se muestran en la tabla siguiente.

Termómetro n.º 1	Termómetro n.º 2
101,2	100,6
101,1	99,2
101,2	98,9
101,1	101,0
101,2	100,3
Media = 101,16 °C	**Media = 100,00 °C**

El termómetro n.º 1 muestra muy poca fluctuación, pero se desvía del punto de ebullición conocido (100 °C) en una media de 1,2 °C. Tiene buena precisión, pero un sesgo evidente.

El termómetro n.º 2 tiene un valor medio igual al punto de ebullición conocido, pero muestra bastante fluctuación entre las lecturas individuales. Tiene una precisión de aproximadamente ±1 °C, pero menos precisión que el termómetro n.º 1.

Aunque sería preferible no utilizar ninguno de los dos termómetros, el termómetro n.º 1 podría emplearse si se restaran 1,2 °C de la media de las mediciones registradas. El termómetro n.º 2 podría utilizarse si se realizaran suficientes mediciones para obtener una media válida.

Los instrumentos científicos y de ingeniería deben calibrarse y compararse periódicamente con los estándares de referencia para garantizar la precisión de las mediciones. Si no se realizan estas comprobaciones, la exactitud es incierta, independientemente de la precisión. La calibración de un instrumento elimina el error fijo, dejando solo el error aleatorio como motivo de preocupación.

7.7 - Repetibilidad y reproducibilidad

Definición de repetibilidad

El término ***«repetibilidad»*** se refiere al rango dentro del cual un mismo operador realiza mediciones repetidas con el mismo aparato de ensayo. Se utiliza para designar el nivel de precisión del ensayo con un solo operador. En consecuencia, la repetibilidad se define en el *Glosario de términos de garantía de calidad del TRB* y en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

> **Repetibilidad** – "El grado de variación entre los resultados de las pruebas obtenidos por el mismo operador al repetir una prueba con el mismo material."

El término «repetibilidad» se utiliza para designar la precisión de la prueba con un solo operador.

La repetibilidad se define además en la norma ASTM como "la proximidad de la concordancia entre los resultados de los ensayos obtenidos en condiciones de repetibilidad, es decir, las condiciones preferidas en las que se obtienen los resultados de los ensayos con el mismo método de ensayo en el mismo laboratorio, por el mismo operador con el mismo equipo, en el menor tiempo posible, utilizando unidades de ensayo o muestras de ensayo tomadas al azar, de una sola cantidad de material que sea lo más homogéneo posible."

Definición de reproducibilidad

El término ***reproducibilidad*** se refiere a la consistencia del patrón de variación en los ensayos. Mide la influencia humana o el error humano en la ejecución de un ensayo. En consecuencia, la reproducibilidad se define en el *Glosario de términos de garantía de calidad del TRB* y en la norma AASHTO R 10 de la siguiente manera:

> **Reproducibilidad**: «El grado de variación entre los resultados de las pruebas obtenidos por diferentes operadores que realizan la misma prueba sobre el mismo material».

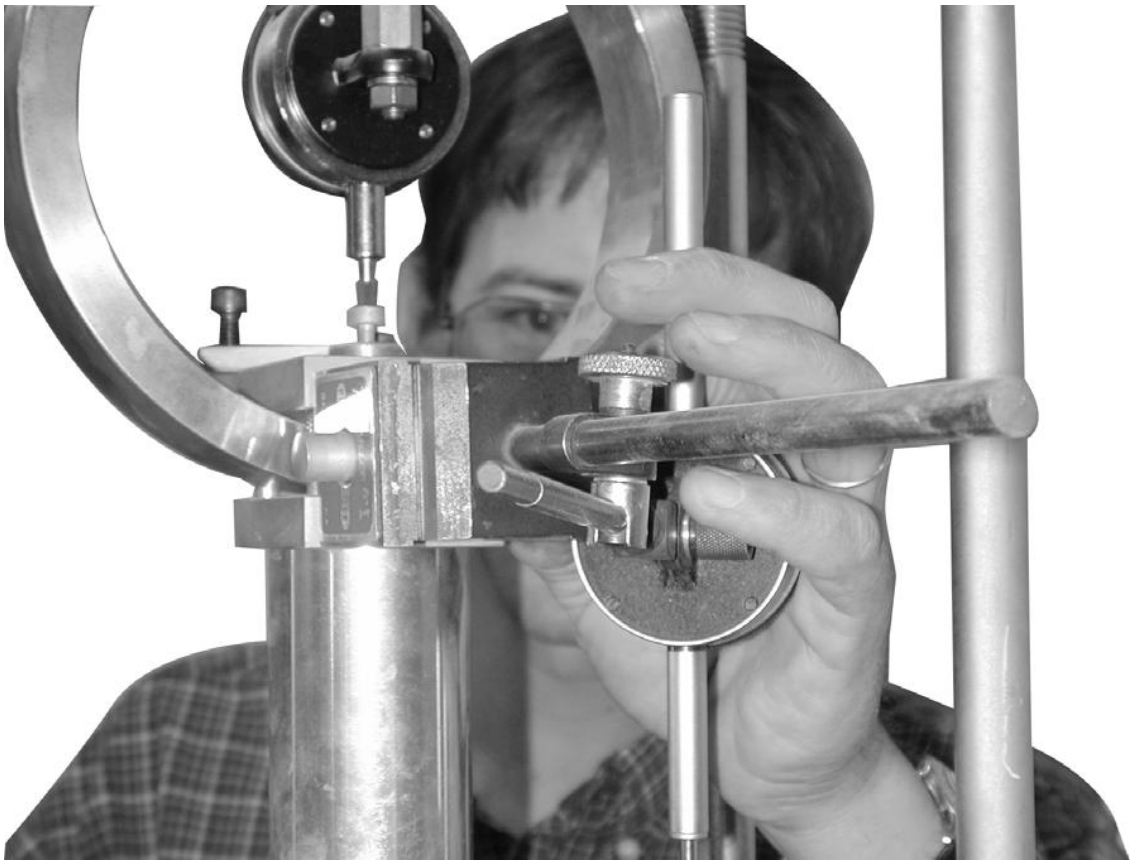
Mide la influencia humana o el error humano en la ejecución de una prueba. El término reproducibilidad se utiliza para designar la precisión de las pruebas entre laboratorios.

La reproducibilidad se define además en la norma ASTM como «término genérico para medir la precisión aplicable a la variabilidad entre los resultados de ensayos individuales obtenidos en diferentes laboratorios utilizando muestras de ensayo tomadas al azar de una sola muestra de material».

La repetibilidad y la reproducibilidad dependen tanto de una buena precisión como de una buena exactitud en el muestreo y las pruebas. Cuando una muestra de material
Cuando se obtienen resultados o se realiza una prueba, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

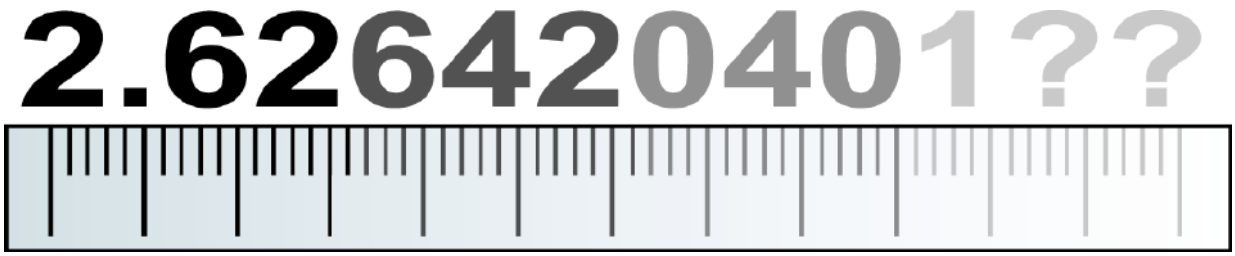
- *La precisión* depende de los preparativos para la prueba, del equipo de prueba y del cuidado con que se realice la prueba.
- *La exactitud* depende de la ausencia de sesgos, del número de incrementos o lugares de los que se toman las muestras de material y, en algunos casos, del tamaño de la muestra.
- A medida que mejoran la precisión y la exactitud, se aproxima *la exactitud* y se mejora la repetibilidad y la reproducibilidad.

Las matemáticas tienen ciertas reglas y procedimientos bien establecidos para realizar mediciones y cálculos. Lo mismo ocurre con los procedimientos de ensayo normalizados. A veces coinciden, pero en ocasiones no es así. Los ingenieros y técnicos deben estar familiarizados con ambos, pero deben seguir los procedimientos de ensayo normalizados para obtener resultados válidos y comparables.



7.8 - Cifras significativas

Dígitos significativos y cifras significativas



Todas las mediciones tienen cierto grado de incertidumbre. La magnitud de la incertidumbre depende tanto de la precisión del dispositivo de medición como de la habilidad de quien lo maneja. En una balanza de plataforma de triple brazo, la masa de una sustancia de muestra se puede medir con una precisión de 0,1 g; las diferencias de masa inferiores a este valor no se pueden detectar en esta balanza. Por lo tanto, podríamos indicar la masa de una moneda de diez centavos medida en esta balanza como 2,2 ± 0,1 g; el ± 0,1 (léase más o menos 0,1) es una medida de la precisión de la cantidad numérica.

Es importante tener alguna indicación de la precisión con la que se realiza cualquier medición. La notación ± es una forma de lograrlo. Es habitual omitir la notación ±, entendiendo que existe una incertidumbre de al menos una unidad en el último dígito de la cantidad medida; es decir, las cantidades medidas se comunican de tal manera que solo el último dígito es incierto. Todos los dígitos, incluido el incierto, se denominan ***dígitos significativos*** o, más comúnmente, ***cifras significativas***. Por ejemplo, el número
2,2 tiene dos cifras significativas, mientras que el número 2,2405 tiene cinco cifras significativas.

La norma AASHTO que aborda los dígitos significativos o las cifras significativas es la **AASHTO R 11**, titulada *«Indicación de qué posiciones de las cifras deben considerarse significativas en valores límite especificados»*. Esta norma es equivalente a **la ASTM E 29**, titulada *«Práctica estándar para el uso de dígitos significativos en datos de ensayo para determinar la conformidad con las especificaciones»*. Los términos «dígito significativo» y «cifra significativa» se utilizan indistintamente. Por consiguiente, estos términos se consideran sinónimos en todo el resto del presente documento.

Definición de dígito significativo (o cifra significativa)

Al registrar un valor medido o calculado, la precisión alcanzada se indica mediante el número de dígitos (es decir, dígitos significativos o cifras significativas) registrados. En consecuencia, el término «dígito significativo» se define en AASHTO R 11 (ASTM E29) de la siguiente manera:

> **Dígito significativo**: “Cualquiera de los dígitos del 0 al 9, excepto los ceros iniciales y algunos ceros finales, que se utiliza con su valor posicional para denotar una cantidad numérica con una aproximación deseada.”

El American Heritage Dictionary define los dígitos significativos de la siguiente manera:

> **Dígitos significativos**: “Los dígitos de la forma decimal de un número que comienzan por el dígito distinto de cero situado más a la izquierda y se extienden hacia la derecha hasta incluir todos los dígitos garantizados por la precisión de los dispositivos de medición utilizados para obtener los números. También se denominan ***cifras significativas***.”

El número de cifras significativas en un valor calculado o medido incluye todos los dígitos positivos (ciertos) más un dígito que se estima. Las cifras significativas en un valor medido o calculado incluyen cada dígito que se conoce (por ejemplo, en el número 3,295, el 3, el 2 y el 9 son cantidades absolutas) y un dígito cuya precisión no es exacta (es decir, el 5, que es el último dígito). El último dígito podría haberse estimado a partir de la lectura de un medidor o una escala, redondeado o leído en un vernier u otros medios. El número de cifras significativas en este ejemplo se considera cuatro. Como otro ejemplo, se dice que una masa registrada como 100,53 gramos tiene cinco cifras significativas.

Para ser coherentes con la teoría de los errores, es esencial que los datos se registren con el número correcto de cifras significativas. Si se omite una cifra significativa al registrar un valor, se habrá desperdiciado el tiempo dedicado a obtener cierta precisión. Por otro lado, si los valores se registran con más cifras de las que son significativas, se dará a entender una precisión falsa y se podrá perder tiempo en realizar cálculos.

Determinación de cuándo el cero es una cifra significativa

El dígito cero puede indicar un valor específico o solo indicar la posición. Las reglas contenidas en AASHTO R 11 para determinar si los ceros se consideran cifras significativas son las siguientes:

- Los ceros que preceden al primer dígito distinto de cero de un número indican únicamente el orden de magnitud y no son cifras significativas. Por ejemplo, el número 0,0034 tiene dos cifras significativas (3 y 4).

- Los ceros que preceden al último dígito distinto de cero en los números representados con un punto decimal son cifras significativas. Por ejemplo, los números 1270 y 32,00 tienen cuatro cifras significativas cada uno.

- La importancia de los ceros finales para los números representados sin el uso de un punto decimal solo puede identificarse a partir del conocimiento del valor de origen. Por ejemplo, la resistencia del módulo indicada como 140 000 Pa puede tener tan solo dos o hasta seis cifras significativas.

Decimales frente a cifras significativas

El número de cifras significativas se confunde a menudo con el número de ***decimales***. Es posible que sea necesario utilizar decimales para mantener el número correcto de cifras significativas, pero por sí mismos no indican cifras significativas. A continuación, se muestran algunos ejemplos de valores reportados y sus correspondientes cifras significativas y decimales:

Valor reportado	Cifras significativas	Decimales
24	Dos	Ninguno
2,4	Dos	Uno
0,0024	Dos	Cuatro
365	Tres	Ninguno
36,5	Tres	Uno
0,0240	Tres	Cuatro
7636	Cuatro	Ninguno
76,36	Cuatro	Dos
24,00	Cuatro	Dos

Reglas para las cifras significativas en los cálculos

Existen reglas matemáticas para manejar las cifras significativas en diferentes situaciones que implican cálculos. Los inspectores y técnicos de transporte deben seguir los requisitos de las especificaciones de la agencia (por ejemplo, AASHTO, ASTM, agencia estatal, FAA, FHWA u otras) para proporcionar el número correcto de cifras significativas en los valores que informan para la prueba específica en cuestión. Del mismo modo, si un inspector o técnico utiliza una tabla de consulta durante los cálculos o al seguir un procedimiento prescrito, debe utilizar el número correcto de cifras significativas para abordar adecuadamente la tabla en cuestión. En todos los demás casos, existen reglas que pueden utilizarse para sumar o restar, para multiplicar o dividir, y para el número de dígitos que deben utilizarse durante un cálculo intermedio.

La AASHTO ha proporcionado ***unas normas estándar*** para conservar las cifras significativas en las operaciones de suma, resta, multiplicación y división, tal y como se presenta a continuación.

Cifras significativas conservadas con la suma o la resta

Las reglas estándar para conservar las cifras significativas al sumar o restar se proporcionan en AASHTO R 11. La regla al sumar o restar datos de prueba es que el resultado no debe contener cifras significativas más allá del último dígito significativo de cualquier dato. En resumen, al realizar sumas o restas, el número de cifras significativas que se indican en la suma o la diferencia viene determinado por la entrada menos precisa.
La norma AASHTO R 11 proporciona los siguientes ejemplos:

(1) 11,24 + 9,3 + 6,32 = 26,9, ya que el último dígito significativo de 9,3 es el primero después del punto decimal, se obtiene 26,9 redondeando la suma exacta, 26,86, a este decimal.

(2) 926 - 923,4 = 3

(3) 140 000 + 91 460 = 230 000 cuando el primer valor se registró al decenio más cercano, 231 000 cuando el primer valor se registró al millar más cercano, 231 500 cuando el primer valor se registró al centenar más cercano, 231 460 cuando el primer valor se registró al decenio más cercano.

Ejemplo 7-G: Para cada una de las tres situaciones siguientes, determine el valor calculado e informe del número adecuado de cifras significativas según la norma AASHTO R 11.

Situación 1		Situación 2		Situación 3	
Cálculo	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativas cifras**
				162 kg	(3)
35,67 kg	(4)	143,903 m	(6)	+ 33,546 kg	(5)
+ 423,938 kg	(6)	- 23,6 m	(3)	- 0,022 kg	(2)
= **459,61 kg**	**(5)**	= **120,3 m**	**(4)**	= **196 kg**	**(3)**
(NO 459,608 kg)		(NO 120,303 m)		(NO 195,524 kg)	

Cifras significativas conservadas con la multiplicación o la división

Las reglas difieren para la multiplicación y la división. Las reglas estándar para conservar las cifras significativas al multiplicar o dividir se proporcionan en AASHTO R 11. La regla al multiplicar o dividir es que el resultado no debe contener más dígitos significativos que el valor con el menor número de dígitos significativos. AASHTO R 11 proporciona los siguientes ejemplos:

(1) 11,38 x 4,3 = 49, ya que el factor 4,3 tiene dos dígitos significativos.

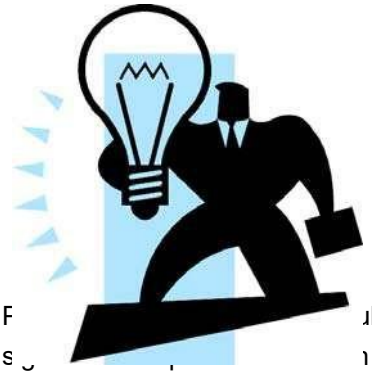
(2) (926 - 923,4) / 4,3 = 0,60

Ejemplo 7-H: Para cada una de las tres situaciones siguientes, determine el valor calculado e indique el número adecuado de cifras significativas según la norma AASHTO R 11.

Situación 1		Situación 2		Situación 3	
Cálculo	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativos cifras**
19231 kg	(5)	61,2 m	(3)	0,3257 kg	(4)
X 0,0003 kg	(1)	X 5,3872 m	(5)	÷ 1,25 kg	(3)
= **6 kg^2**	**(1)**	= **330 m^2**	**(3)**	= **0,261 kg^2**	**(3)**
(NO 5,7693033 kg)		(NO 329,69664 m)		(NO 0,26056 kg)	

Regla alternativa para la multiplicación y la división

Además de la regla estándar de la AASHTO, existe una ***regla alternativa*** para conservar las cifras significativas en la multiplicación y la división. Esta regla alternativa establece que siempre se debe utilizar una cifra significativa más de la que sugiere la regla estándar.



Esta regla alternativa protege contra la pérdida de información valiosa. El dígito significativo «extra» que exige la regla alternativa garantiza que nunca se descarte información valiosa. Por lo tanto, la regla alternativa es más precisa y completamente segura para los datos. La regla alternativa se considera superior a la regla estándar y, por lo tanto, se recomienda su uso.

F ultiplicación o división utilizando la regla alternativa, el número de cifras s el producto o cociente viene determinado por la entrada menos precisa más una cifra significativa adicional. Consideremos el siguiente ejemplo.

Ejemplo 7-I: Utilizando las mismas tres situaciones presentadas en el ejemplo 7H, informe los valores calculados con el número correcto de cifras significativas utilizando la regla alternativa.

Situación 1		Situación 2		Situación 3	
Cálculo	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativas cifras**	**Cálculo**	**N.º de significativas cifras**
19231 kg	(5)	61,2 m	(3)	0,3257 kg	(4)
X 0,0003 kg	(1)	X 5,3872 m	(5)	÷ 1,25 kg	(3)
= **5,8 kg^2**	**(2)**	= **329,7 m^2**	**(4)**	= **0,2606 kg^2**	**(4)**
(NO 5,7693033 kg)		(NO 329,69664 m)		(NO 0,26056 kg)	

Tenga en cuenta que 0,0003 solo tiene un dígito significativo. Aunque tiene cuatro decimales y parece tener ese nivel de precisión, lo importante en la multiplicación y la división es preservar la precisión en el cálculo. Es importante señalar que el tres en 0,0003 no es absoluto, es una aproximación. En la multiplicación y la división, el número importante en el decimal 0,0003 es el tres, y el lugar de las diez milésimas funciona más como unidades que como una medida de precisión. En ese ejemplo, estamos multiplicando por un número que podría estar entre 0,0002500001 y 0,0003499999. Llevar el resultado calculado a más de dos cifras significativas implicaría un nivel de precisión que no existe.

Cifras significativas con operaciones mixtas

Las reglas para determinar las cifras significativas que deben conservarse en operaciones mixtas que implican suma, resta, multiplicación y/o división, exceden el alcance de este manual. La AASHTO trata este tema hasta cierto punto en la sección denominada «precisión» o «precisión y sesgo» incluida en muchos métodos de ensayo. Si se desea obtener más detalles, se remite al lector a los métodos de ensayo de la AASHTO.

Cifras significativas conservadas en cálculos intermedios

Reglas estándar para conservar las cifras significativas durante los cálculos intermedios
Los cálculos se proporcionan en AASHTO R 11. La regla para calcular el resultado de una prueba a partir de los datos de la misma es evitar redondear las cantidades intermedias. En la medida de lo posible con el dispositivo o formulario de cálculo utilizado, realice los cálculos con los datos de la prueba con exactitud y redondee solo el resultado final. AASHTO R 11 proporciona los siguientes ejemplos de cálculos intermedios:

a. $\sqrt{12} = 3,4641016$

b. $23,59 + 8,32579 = 31,91579$

c. $1 / 30 = 0,0333333333333\ldots$

Todos estos son ejemplos de cálculos intermedios, no resultados finales, por lo que no se redondean. La mayoría de los cálculos se suelen realizar con una calculadora o una hoja de cálculo, y cualquier serie infinita, como 1 / 3, se redondeará al valor predeterminado utilizado por la hoja de cálculo o la calculadora.

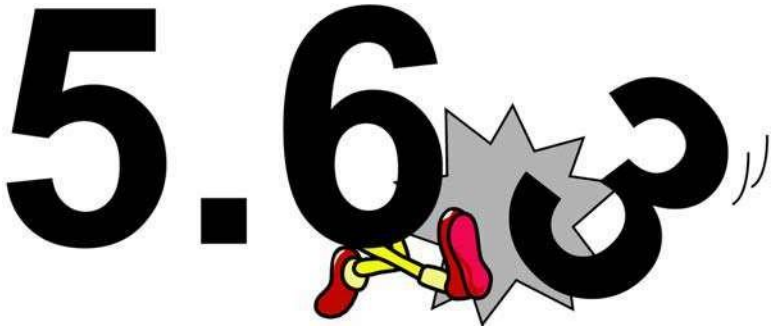
Informar del valor final calculado de manera significativa

La decisión correcta a la hora de comunicar un valor calculado depende del uso que se vaya a dar a dicho valor en el futuro. Si se va a combinar con otros datos, las reglas deben ser las mismas que las presentadas anteriormente para los valores intermedios calculados. Si el valor comunicado es el valor calculado final, el número de cifras significativas que se mantengan debe basarse en este valor.

En ingeniería, se acepta generalmente que un dígito es significativo si hay un 50 % de probabilidades de que se obtenga el mismo dígito cuando se utilizan nuevos datos para realizar cálculos similares.

7.9 - Redondeo

Definición de redondeo



Al informar un valor con el número requerido de cifras significativas, suele ser necesario redondear los valores medidos o calculados. El redondeo se aplica cuando se pretende que un número limitado de dígitos de un valor observado o calculado se considere significativo. En consecuencia, el redondeo se define de la siguiente manera:

> **Redondeo**: "Proceso de eliminar uno o más dígitos para que el valor reportado contenga solo aquellos dígitos que sean significativos o necesarios en cálculos posteriores."

Al redondear, el último dígito que se conserva se incrementa (redondeo por exceso) o se deja sin cambios (redondeo por defecto) después de la medición o el cálculo. Las reglas para el redondeo se encuentran en AASHTO R 11 (ASTM E 29). Tal y como se indica en la norma AASHTO R 11, existen dos métodos comúnmente aceptados para redondear datos, identificados como el ***método absoluto*** y el ***método de redondeo***. El método de redondeo requerido normalmente se especificará en los métodos de ensayo individuales de la AASHTO y en las especificaciones de construcción de la Agencia de Transporte. A continuación, se explica cada uno de estos métodos.

Método absoluto

El método absoluto para redondear valores se describe en la norma AASHTO R 11 de la siguiente manera:

Cuando sea aplicable: el método absoluto se aplica cuando se pretende que todos los dígitos de un valor observado o calculado se consideren significativos a efectos de determinar la conformidad con las especificaciones. En estas condiciones, los límites especificados se denominan límites absolutos.

Cómo se aplica: con el método absoluto, un valor observado o calculado no se redondea, sino que se compara directamente con el valor límite especificado. El cumplimiento o incumplimiento de la especificación se basa en esta comparación.

Método de redondeo

El método de redondeo para redondear valores se describe en AASHTO R 11 de la siguiente manera:

Cuando se aplica: el método de redondeo se aplica cuando se pretende que un número limitado de dígitos de un valor observado o calculado se considere significativo a efectos de determinar la conformidad con las especificaciones.

Cómo se aplica: con el método de redondeo, un valor observado o calculado debe redondearse... a la unidad más cercana en el lugar designado de las cifras indicadas en la norma, como, por ejemplo, «al kPa más cercano», «a los 10 ohmios más cercanos», «al 0,1 % más cercano», etc. A continuación, el valor redondeado debe compararse con el límite especificado y, en función de esta comparación, se determina la conformidad o no conformidad con la especificación.

Procedimientos de redondeo de la AASHTO

Para comprender los procedimientos de redondeo exigidos por la norma AASHTO R 11, repasemos las siguientes ***reglas de redondeo*** que contiene:

AASHTO R 11 - REGLA DE REDONDEO A

El dígito siguiente al último dígito que se conserva < 5:

- Si el dígito siguiente al último dígito que se conserva es un 0, 1, 2, 3 o 4, se tachará ese dígito y todos los dígitos siguientes. Por ejemplo:

  53,43 ⇨ expresado con tres cifras significativas = **53.4**

  28,69248539 ⇨ expresado con cinco cifras significativas = **28.692**

AASHTO R 11 - REGLA DE REDONDEO B

Dígito siguiente al último dígito que se va a conservar > 5:

- Si el dígito que sigue al último dígito que se va a conservar es un 6, 7, 8 o 9, entonces se incrementará en 1 el último dígito que se va a conservar y se tacharán todos los dígitos siguientes. Por ejemplo:

  53,67 ⇨ expresado con tres cifras significativas = **53.7**

  28,69248539 ⇨ expresado con tres cifras significativas = **28.7**

AASHTO R 11 - REGLA DE REDONDEO C

Dígito siguiente al último dígito que se va a conservar = 5 (dígitos a la derecha > 0):

- Si el dígito siguiente al último dígito que se conserva es 5 y hay dígitos distintos de cero a la derecha de ese 5, se incrementa en 1 el último dígito que se conserva y se tachan todos los dígitos siguientes. Por ejemplo:

  53,652 ⇨ redondeado a tres cifras significativas = **53.7**

  28,69248539 ⇨ expresado con siete cifras significativas = **28.69249**

AASHTO R 11 - REGLA DE REDONDEO D

Dígito siguiente al último dígito que se conserva = 5 (dígitos a la derecha = 0):

- Si el dígito siguiente al último dígito que se conserva es 5 y no hay más dígitos que ceros después de ese 5, se incrementa en 1 el último dígito que se conserva si es impar, o se deja sin cambios si es par o cero. Por ejemplo:

  53,650 ⇨ expresado con tres cifras significativas = **53.6**

  28,692475 ⇨ redondeado a siete cifras significativas = **28.69248**

  28,69248500 ⇨ expresado con siete cifras significativas = **28.69248**

Ejemplo 7-J: Utilizando los valores calculados y el número requerido de cifras significativas que se indican a continuación, informe el valor redondeado adecuado según la regla de redondeo D de la norma AASHTO R 11.

Valor calculado	Cifras significativas indicadas	Valor redondeado
15,675	4	15,68
234,5	3	234
419,500	3	420
11,2345000	5	11,234
65,55	3	65,6
43,0205	5	43,020

AASHTO R 11 - REGLA DE REDONDEO E

Redondeo directo:

- El valor redondeado debe obtenerse en un solo paso mediante el redondeo directo del valor más preciso disponible y no en dos o más pasos de redondeo sucesivo. Por ejemplo:

  89490 ⇨ redondeado al millar más cercano en un solo paso = **89000**

  Incorrecto:

  (**89490** ⇨ redondeado al 100 más cercano = 89500 ⇨ redondeado al 1000 más cercano = **90000**)

Excepciones a las reglas sobre cifras significativas y redondeo

Aunque las reglas matemáticas de las cifras significativas y el redondeo se han establecido en la norma AASHTO R 11, no siempre se siguen. Por ejemplo, el método de ensayo T 176 de la AASHTO, *«Partículas finas plásticas en áridos y suelos clasificados mediante el ensayo del equivalente en arena»,* prescribe un método de redondeo y cifras significativas que entra en conflicto con las reglas de la norma AASHTO R 11.

En este procedimiento, las lecturas y los valores calculados siempre se redondean a dos cifras significativas. A continuación, los números redondeados se utilizan para calcular el equivalente de arena, que es la relación entre la lectura redondeada de la arena y la lectura redondeada de la arcilla multiplicada por 100.

Por ejemplo, utilizando una lectura de arcilla de 7,94 y una lectura de arena de 3,21, el equivalente de arena se calcula de la siguiente manera:

(3,21 ⇨ redondeado = 3,3)

(7,94 ⇨ redondeado = 8,0)

$$\frac{3,3}{8,0} \times 100 = 41,250...$$

Redondeado a 41,3 y registrado como **42**

No: $$\frac{3.21}{7,94} \times 100 = 40,428...$$

Redondeado a 40,0 y registrado como **40**

Es extremadamente importante que los ingenieros y técnicos comprendan las reglas de redondeo.

Redondeo con calculadoras u ordenadores

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las calculadoras y los ordenadores no siempre siguen las reglas de redondeo que se encuentran en la norma AASHTO R 11. Por ejemplo, si el número que se redondea termina en 5, existen dos posibilidades cuando se sigue la norma AASHTO R 11. En este enfoque matemáticamente sólido, los números se redondean hacia arriba o hacia abajo dependiendo de si el número a la izquierda del 5 es par o impar. Este procedimiento evita el sesgo que existiría si todos los números que terminan en 5 se redondearan al alza o todos los números se redondearan a la baja.

Sin embargo, en algunas calculadoras, todos los redondeos se realizan al alza. Esto da lugar a cierto sesgo o distorsión de los datos, pero el sesgo puede ser significativo o no para los cálculos en cuestión. No obstante, la mayoría de las agencias realizan cálculos con calculadoras u ordenadores y aceptan lo mismo de los contratistas.

A continuación, se muestra una comparación entre el redondeo de los valores observados o calculados a cuatro cifras significativas utilizando AASHTO R 11 y el redondeo de los mismos valores utilizando una calculadora o un ordenador que siempre redondea al alza:

Valor observado o calculado	Redondeo según AASHTO R 11	Redondeo según el ordenador
102,25	102,2	102,3
102,35	102,4	102,4
102,45	102,4	102,5
102,55	102,6	102,6

A pesar del uso de calculadoras y ordenadores que pueden redondear de forma diferente, la determinación del redondeo adecuado y la notificación de las cifras significativas apropiadas deben realizarse de acuerdo con las especificaciones de garantía de calidad que se utilicen.

Ejemplo 7-K: Utilizando los valores calculados que se indican a continuación y las reglas de redondeo, indique el valor final con 5 cifras significativas e indique la regla de redondeo utilizada.

Valores calculados	Valores redondeados	Regla de redondeo utilizada
28,6944999	**28,694**	**Regla A**
28,6554999	**28,655**	**Regla A**
99,9994999	**99,999**	**Regla A**
98,9995000	**99,000**	**Regla D**
98,9999999	**99,00**	**Regla B**
98,8885000	**98,888**	**Regla D**
89,8985001	**89,899**	**Regla C**
89,8915000	**89.892**	**Regla D**
89.8905000	**89.890**	**Regla D**

- FIN DEL CAPÍTULO 7 -

CAPÍTULO 8

Herramientas matemáticas para el aseguramiento de la calidad

Capítulo 8

Herramientas matemáticas para el control de calidad

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan las siguientes herramientas matemáticas utilizadas en el control de calidad:

8.1 - Uso de números aleatorios ( )

8.2 - Uso de la media e

8.3 - Rango de datos e es

8.4 - Distribución de datos muestrales

8.5 - Distribuciones normales de datos

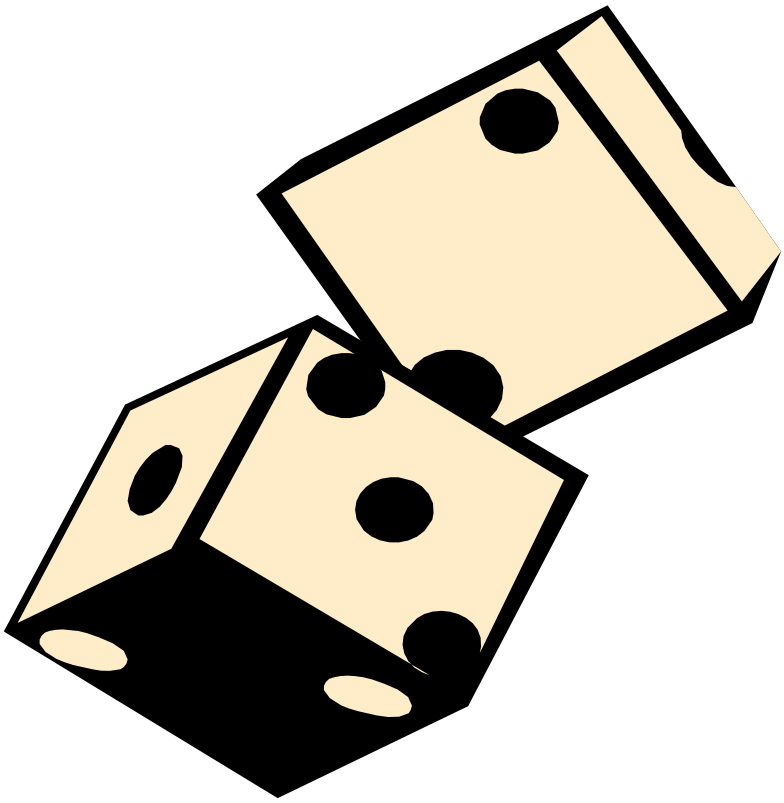
8.6 - Uso de la desviación estándar y la dispersión de los datos de

8.7 - Análisis de calidad de la distribución de la varianza

8.1 - Uso de números aleatorios

Práctica estándar para el muestreo aleatorio de materiales de construcción

Como se explica en el capítulo 4, la mayoría de las muestras de control de calidad y todas las muestras de aceptación deben seleccionarse mediante muestreo aleatorio. Cada organismo debe especificar el método que se utilizará para determinar aleatoriamente la ubicación de las muestras. Dichos métodos pueden incluir el uso de una hoja de cálculo proporcionada por el organismo, la función de generador de números aleatorios de una calculadora portátil o un procedimiento que utilice tablas de números aleatorios proporcionadas por el organismo.



Ejemplos de aplicaciones de números aleatorios

Ejemplo 8-A: Se produjeron 2500 toneladas (2268 Mg) de HMA durante un día en una planta. Las especificaciones de control de calidad de la agencia identifican un tamaño de lote de 10 000 toneladas (9072 Mg) y un tamaño de sublote de 500 toneladas (454 Mg). Las especificaciones de control de calidad exigen que se obtenga una muestra de cada sublote del camión en la planta para determinar el contenido de aire y el contenido de ligante asfáltico en el laboratorio los huecos de aire y el contenido de ligante asfáltico. Utilizando esta información, determine los puntos en los que se deben tomar las muestras de material (redondeando a la tonelada más cercana)

(Nota: En los siguientes ejemplos, las unidades SI (métricas) entre paréntesis son conversiones métricas aproximadas de las unidades imperiales (EE. UU.) que se han redondeado (utilizando las reglas de la AASHTO) a la Mg más cercana. Los cálculos posteriores para las ubicaciones de las muestras en SI se basan en la conversión original. Por lo tanto, las soluciones de los ejemplos no deben interpretarse como conversiones precisas del sistema imperial al métrico).

1) ¿Cuál es el tamaño de cada sublote?

El tamaño del sublote fue definido por la agencia como 500 toneladas (454 Mg). Si se produjeron 2500 toneladas (2268 Mg) en un día, ese día contendría 5 sublotes determinados de la siguiente manera:

2500 toneladas (2268 Mg) / 500 toneladas (454 Mg) /sublote = **5 sublotes**

2) Los números aleatorios deben generarse utilizando el método del estado. Utilizando los números aleatorios que ya se proporcionan en la tabla siguiente, ¿cuál es el punto en el que debe obtenerse la muestra aleatoria dentro de cada sublote (redondeado a la tonelada más cercana (Mg))?

Sublote n.º	N.º aleatorio		Tamaño del sublote en toneladas (Mg)		Lugar de muestreo dentro del sublote, redondeado a la tonelada más cercana (Mg)
1	**0,3164**	X	500 (454)	=	**158 toneladas (144 Mg)**
2	**0,7267**	X	500 (454)	=	**363 toneladas (330 Mg)**
3	**0,7022**	X	500 (454)	=	**351 toneladas (319 Mg)**
4	**0,1217**	X	500 (454)	=	**61 toneladas (55 Mg)**
5	**0,1124**	X	500 (454)	=	**56 toneladas (51 Mg)**

3) ¿Cuáles son los puntos de muestreo desde el inicio del lote en los que se deben obtener las muestras aleatorias para cada sublote?

Ejemplo 8-A: Lugares de muestreo desde el principio del lote					
Sublote n.º	**Lugar de muestreo desde el inicio del sublote**		**Distancia desde el inicio del lote hasta el inicio del sublote**		**Lugar de muestreo desde el inicio del lote**
1	158 toneladas (144 Mg)	+	0	=	**158 toneladas (144 Mg)**
2	363 toneladas (330 Mg)	+	500 toneladas (454 Mg)	=	**863 toneladas (784 Mg)**
3	351 toneladas (319 Mg)	+	1000 toneladas (908 Mg)	=	**1351 toneladas (1227 Mg)**
4	61 toneladas (55 Mg)	+	1500 toneladas (1362 Mg)	=	**1561 toneladas (1417 Mg)**
5	56 toneladas (51 Mg)	+	2000 toneladas (1816 Mg)	=	**2056 toneladas (1867 Mg)**

Ejemplo 8-B: Se ha colocado un tablero de puente reforzado con hormigón armado. Se debe comprobar la profundidad del recubrimiento sobre el acero de refuerzo. Las especificaciones de garantía de calidad de la agencia definen un lote como todo el tablero del puente. De acuerdo con la garantía de calidad Especificaciones: cada tramo del tablero del puente se dividirá en cinco subtramos en función de la longitud total del tablero. Las ubicaciones reales de las pruebas dentro de cada subtramo se determinarán mediante un procedimiento de muestreo aleatorio estratificado. Las dimensiones del tablero son 350 pies (107 m) de largo por 42 pies (13 m) de ancho.

1) ¿Cuál es el tamaño de cada sublote para las mediciones de la cubierta?

Dado que la especificación de control de calidad indicaba que cada cubierta se dividiera en cinco subparcelas en función de la longitud, y que la longitud total de la cubierta del puente hormigonada era de 350 pies (107 m), el tamaño de la subparcela se calcula de la siguiente manera:

350 pies (107 m) / 5 sublotes = **70 pies (21,4 m) / sublote**

2) Supongamos que los números aleatorios se desarrollaron utilizando el método del estado. ¿Cuál es la ubicación longitudinal de la muestra aleatoria para cada sublote medida desde el comienzo del sublote (al pie más cercano)?

Sublote n.º	N.º aleatorio		Tamaño del sublote, pies (m)		Ubicación de la muestra, pies (m)
1	**0,5506**	X	70 (21,4)	=	**39 (12)**
2	**0,4383**	X	70 (21,4)	=	**31 (9)**
3	**0,9789**	X	70 (21,4)	=	**69 (21)**
4	**0,2958**	X	70 (21,4)	=	**21 (6)**
5	**0,5903**	X	70 (21,4)	=	**41 (13)**

3) ¿Cuál es la ubicación longitudinal de la muestra aleatoria para cada sublote medida desde el comienzo del lote (al pie (metro) más cercano)?

Ejemplo 8-B: Ubicaciones longitudinales de muestreo desde el inicio del lote					
Sublote n.º	**Ubicación de muestreo desde el inicio del sublote**		**Distancia desde el inicio del lote hasta el inicio del sublote**		**Ubicación de muestreo desde el inicio del lote**
1	**39 pies (12 m)**	+	0	=	**39 pies (12 m)**
2	**31 pies (9 m)**	+	70 pies (21,4 m)	=	**101 pies (30 m)**
3	**69 pies (21 m)**	+	140 pies (42,8 m)	=	**209 pies (64 m)**
4	**21 pies (6 m)**	+	210 pies (64,2 m)	=	**70 m**
5	**41 pies (13 m)**	+	280 pies (85,6 m)	=	**321 pies (99 m)**

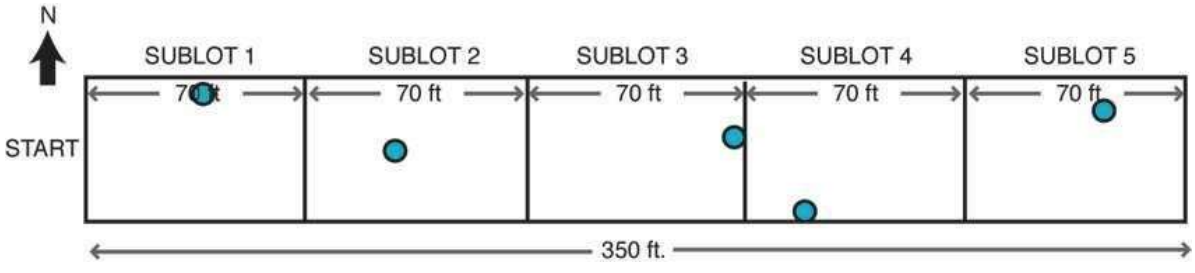
4) Supongamos que los números aleatorios (que se indican a continuación) se han obtenido utilizando el método del estado. Determine la ubicación transversal de la muestra aleatoria para cada sublote medida desde el borde derecho (lado sur) de la plataforma de 42 pies de ancho (redondeada a 0,1 pies).

Sublote n.º	N.º aleatorio		Tamaño del sublote, pies (m)		Ubicación de muestreo, pies (m)
1	**0,9108**	X	42 (13)	=	**38,3 (11,8)**
2	**0,4169**	X	42 (13)	=	**17,5 (5,4)**
3	**0,4469**	X	42 (13)	=	**18,8 (5,8)**
4	**0,0056**	X	42 (13)	=	**0,2 (0,1)**
5	**0,7568**	X	42 (13)	=	**31,8 (9,8)**

5) Resuma la ubicación del muestreo aleatorio para cada sublote.

Ejemplo 8-B: Resumen de la ubicación del muestreo aleatorio para cada sublote			
Número de sublote	**Ubicación del muestreo longitudinal desde el inicio del sublote**	**Ubicación del muestreo longitudinal desde el inicio del lote**	**Ubicación del muestreo transversal desde el borde derecho**
1	**39 pies (12 m)**	**39 pies (12 m)**	**38,3 pies (11,8 m)**
2	**31 pies (9 m)**	**101 pies (30 m)**	**17,5 pies (5,4 m)**
3	**69 pies (21 m)**	**209 pies (64 m)**	**18,8 pies (5,8 m)**
4	**21 pies (6 m)**	**231 pies (70 m)**	**0,2 pies (0,1 m)**
5	**41 pies (13 m)**	**321 pies (99 m)**	**31,8 pies (9,8 m)**

6) Indique la ubicación aproximada de la muestra aleatoria para cada sublote en el siguiente boceto.



8.2 - Utilizando la media

Cálculo de la media

La media es una potente herramienta matemática en el control de calidad que puede utilizarse para ayudar a determinar (estimar) de forma razonable la calidad de una población (lote) determinada. Tal y como se presenta en el capítulo 7, la media ($\bar{X}$) es simplemente el promedio de todas las mediciones individuales de la muestra o los resultados de las pruebas obtenidos de una población (lote). La media tiene una relación importante con el concepto de distribución normal, que se analizará a continuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Ejemplos de aplicaciones de la media

La siguiente tabla muestra los promedios de bateo de seis jugadores de béisbol durante un periodo de cinco meses. Aunque el promedio (media) de cada jugador varía de un mes a otro, tal y como indica la tabla, el promedio (media) general de los cinco meses es idéntico para los seis jugadores.

Jugador	Babe	Honus	Ty	Eddie	Lou	Cap
Abril	100	200	180	50	0	0
Mayo	150	200	190	415	500	125
Junio	200	200	200	375	0	125
Julio	250	200	210	105	450	250
Agosto	300	200	220	55	50	500
Suma (ΣX_i)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Número de muestras (n)	5	5	5	5	5	5
Media (media aritmética) ($\bar{x} = \Sigma X_i / n$)	**200,0**	**200,0**	**200,0**	**200,0**	**200,0**	**200,0**

Ejemplo 8-C: Utilizando los resultados de la prueba de huecos de aire y los resultados de la prueba de contenido de ligante asfáltico de las cinco muestras de HMA ubicadas aleatoriamente en el ejemplo 8-A, calcule la media de cada característica de calidad.

Muestra	Huecos de aire (X_i)	Contenido de ligante (X_i)
Sublote 1	8,2	5,7
Sublote 2	3,9	5,7
Sublote 3	4,7	4,8
Sublote 4	5,4	5,2
Sublote 5	4,1	5,4
Suma (ΣX_i)	26,3	26,8
Número de muestras (n)	5	5
Media ($x = \Sigma X_i / n$) =	**5,26**	**5,36**

Ejemplo 8-D: Utilizando los resultados de las pruebas de las cinco mediciones de la cubierta de PCC sobre acero obtenidas aleatoriamente en el ejemplo 8-B, calcule el valor medio.

Muestra	Medición de la capa, pulgadas (mm)
Sublote 1	2,13 (54)
Sublote 2	2,64 (67)
Sublote 3	2,24 (57)
Sublote 4	1,89 (48)
Sublote 5	2,32 (59)
Suma (ΣX_i)	11,22 (285)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \Sigma X_i / n$) =	**2,244 (57,0)**

8.3 - Rango de datos

Cálculo del rango

El rango de datos proporciona una dispersión básica o la mayor variación esperada dentro de un conjunto de datos. Tal y como se presenta en el capítulo 7, el rango (**R**) es simplemente la diferencia entre las mediciones individuales más altas y más bajas de las muestras o los resultados de las pruebas obtenidos de una población (lote).

$$R = (x_{Alta} - x_{Baja})$$

Ejemplos de aplicaciones del rango

Continuando con el ejemplo del promedio de bateo de la sección 8.2, a continuación se presenta el rango del promedio mensual de cada jugador.

Jugador	Babe	Honus	Ty	Eddie	Lou	Cap
Abril	100	200	180	50	0	0
Mayo	150	200	190	415	500	125
Junio	200	200	200	375	0	125
Julio	250	200	210	105	450	250
Agosto	300	200	220	55	50	500
Suma (ΣX_i)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Número de muestras (n)	5	5	5	5	5	5
Media **($\bar{x} = \Sigma X_i / n$)**	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Alto (x_{Alto})	300	200	220	415	500	500
Bajo (x_{Bajo})	100	200	180	50	0	0
Rango = ($x_{Máx.} - x_{Mín.}$)	**200**	**0**	**40**	**365**	**500**	**500**

El jugador más constante es Honus (cuya variación mensual con respecto a su promedio general es de 0). Lou y Cap muestran la mayor variación (500) con respecto a sus promedios mensuales (medias), lo que los convierte en los más inconsistentes (a pesar de tener algunos meses significativamente mejores que Honus).

Como herramienta que mide la variabilidad, el valor del rango proporciona información adicional (más allá de la media) que puede ser útil para tomar decisiones informadas. Si solo se utiliza la media y el rango de los jugadores (es decir, sin evaluar otras tendencias en los datos), Honus podría ser el jugador seleccionado como el bateador con más probabilidades de conseguir un hit, ya que Honus ha demostrado la mayor consistencia mes a mes.

Ejemplo 8-E: Utilizando los resultados de la prueba de huecos de aire y los resultados de la prueba de contenido de ligante asfáltico de las cinco muestras de HMA ubicadas aleatoriamente en el ejemplo 8-A, calcule el rango para cada característica de calidad.

Muestra	**Huecos de aire (X_i)**	**Contenido de ligante (X_i)**
Sublote 1	8,2	5,7
Sublote 2	3,9	5,7
Sublote 3	4,7	4,8
Sublote 4	5,4	5,2
Sublote 5	4,1	5,4
Suma (ΣX_i)	26,3	26,8
Número de muestras (n)	5	5
Media ($\bar{x} = \Sigma X_i / n$)	5,26	5,36
Alto (x_{Alto})	8,2	5,7
Bajo (x_{Bajo})	3,9	4,8
Rango ($x_{Alto} - x_{Bajo}$) =	**4,3**	**0,9**

Ejemplo 8-F: Utilizando los resultados de las pruebas de las cinco mediciones de la cubierta de PCC sobre acero obtenidas aleatoriamente en el ejemplo 8-B, calcule el valor del rango.

Muestra	**Medición de la cubierta, pulgadas (mm)**
Sublote 1	2,13 (54)
Sublote 2	2,64 (67)
Sublote 3	2,24 (57)
Sublote 4	1,89 (48)
Sublote 5	2,32 (59)
Suma (ΣX_i)	11,22 (285)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \Sigma X_i / n$)	**2,244 (57,0)**
Alta (x_{Alta})	2,64 (67)
Bajo (x_{Bajo})	1,89 (48)
Rango ($x_{Alto} - x_{Bajo}$) =	**0,75 (19)**

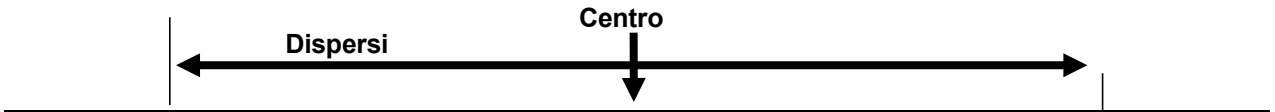
8.4 - Distribución de los datos de la muestra

Distribución de frecuencias

Una ***distribución de frecuencias*** es simplemente una expresión de la frecuencia con la que aparecen los valores de los datos (o rangos de valores preasignados) dentro de un conjunto de mediciones o datos de prueba recopilados de una población.

Los intervalos seleccionados para agrupar los datos (a veces denominados «compartimentos» o «clases») se muestran en un eje horizontal y las frecuencias de aparición dentro de los intervalos seleccionados se muestran en el eje vertical.

Consideremos el siguiente ejemplo. Se tomó una muestra de una reserva de áridos (llamémosla lote o población) y se determinó el porcentaje de áridos que pasaban por un tamiz de 1 pulgada (25 mm) en 126 muestras de material seleccionadas al azar. Los resultados se registraron en un formulario a medida que se analizaban las muestras. Una vez completadas todas las pruebas, los resultados se ordenaron según el porcentaje que pasaba por el tamiz de 1 pulgada (25 mm) (de menor a mayor) para poder establecer la frecuencia de cada caso. A partir de esta agrupación de datos, se determinó el centro (media) y la dispersión (rango) de los datos, como se muestra a continuación.



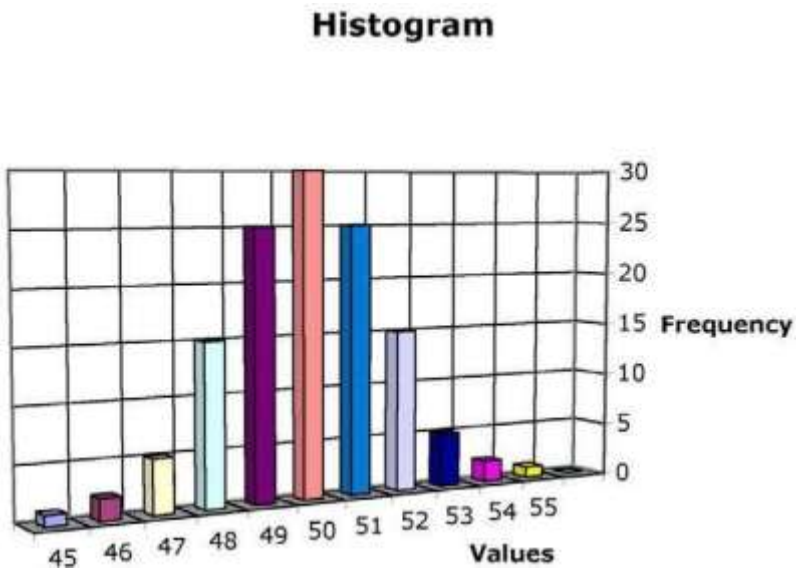
%	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	Total
Frecuencia	1	2	5	15	25	30	25	15	5	2	1	126

A partir de esta distribución de frecuencias se hicieron las siguientes observaciones:

- Hubo 11 intervalos diferentes (los contenedores o clases) en los que se agruparon todos los resultados de las pruebas de la muestra.
- El centro (media) de los resultados de las pruebas fue del 50 % pasando por el tamiz de 1 pulgada (25 mm).
- La dispersión (rango) de los resultados de las pruebas de la muestra fue del 45 al 55 % pasando por el tamiz de 1 pulgada (25 mm).

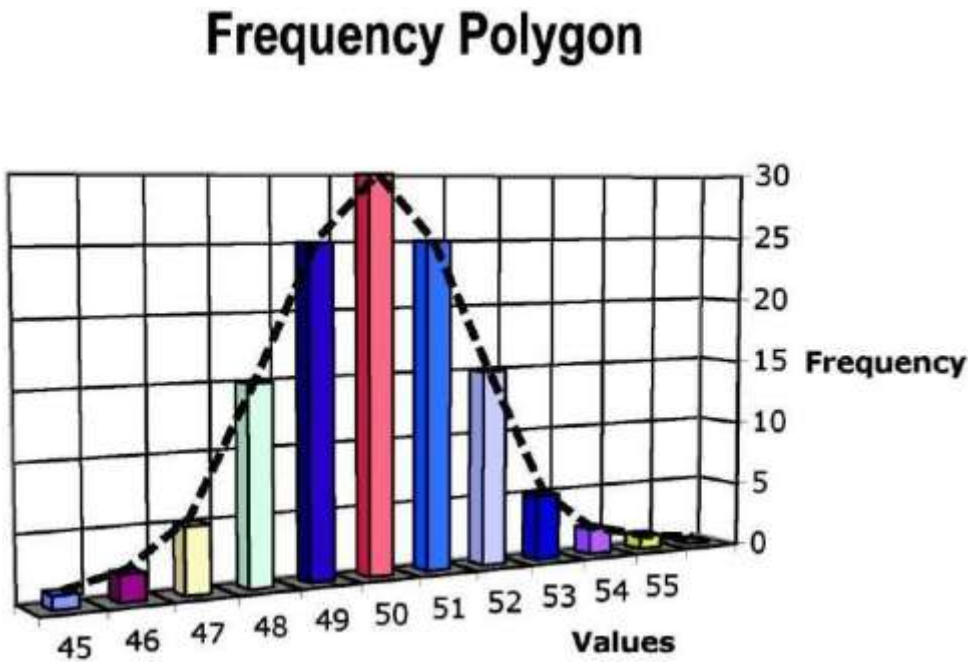
Histograma

Un ***histograma*** es una representación gráfica de una distribución de frecuencias. Un histograma es una forma especialmente informativa de presentar datos, ya que puede utilizarse para estimar rápidamente el centro (media) y encontrar la dispersión (rango) y los valores extremos de los datos. Un histograma representa la frecuencia de aparición de un valor medido o probado como una pila. El histograma siguiente representa los datos de la distribución de frecuencias anterior. El eje horizontal representa los *valores* obtenidos para el porcentaje que pasa por el tamiz de 1 pulgada (25 mm). La altura de cada pila (representada por el eje vertical) indica el número de veces que se produjo un valor de prueba (la *frecuencia*).



Polígono de frecuencia

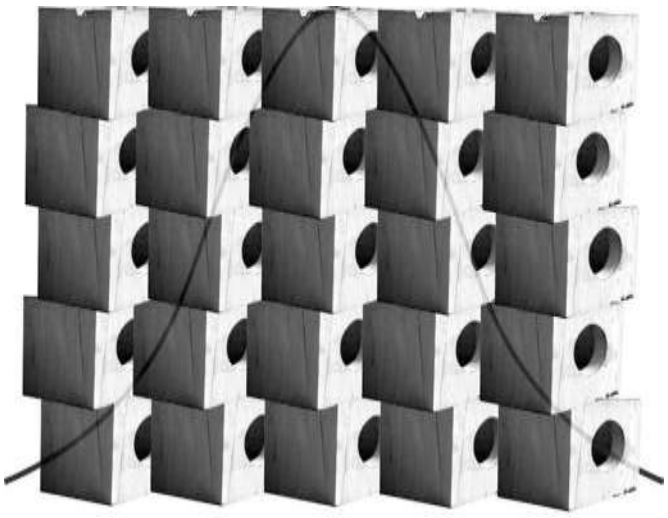
Cuando se conectan los puntos medios de las pilas de un histograma, se forma una curva irregular. La curva irregular se denomina ***polígono de frecuencia***. A continuación, la curva irregular se suaviza generalmente (aproximándose a los datos originales) para obtener una curva singular que pueda utilizarse con fines de estimación. La curva resultante de los resultados de la gradación que pasan por el tamiz de 1 pulgada (25 mm) tiene una forma de campana suave. Cuando una población presenta este tipo de distribución de frecuencias, se dice que tiene una distribución normal. La curva suave en forma de campana se denomina curva de distribución normal y se analizará más adelante (sección 8.5).



8.5 - Distribuciones normales

Curvas de distribución normal que representan muestras individuales

Como se ha comentado anteriormente, el muestreo consiste en examinar la calidad de una *pieza* (por ejemplo, una muestra estadística compuesta por múltiples muestras individuales de material) como prueba de la calidad del *conjunto* (población o lote). Se pueden utilizar múltiples muestras de material seleccionadas al azar para estimar las propiedades de todo un lote de materiales de construcción.



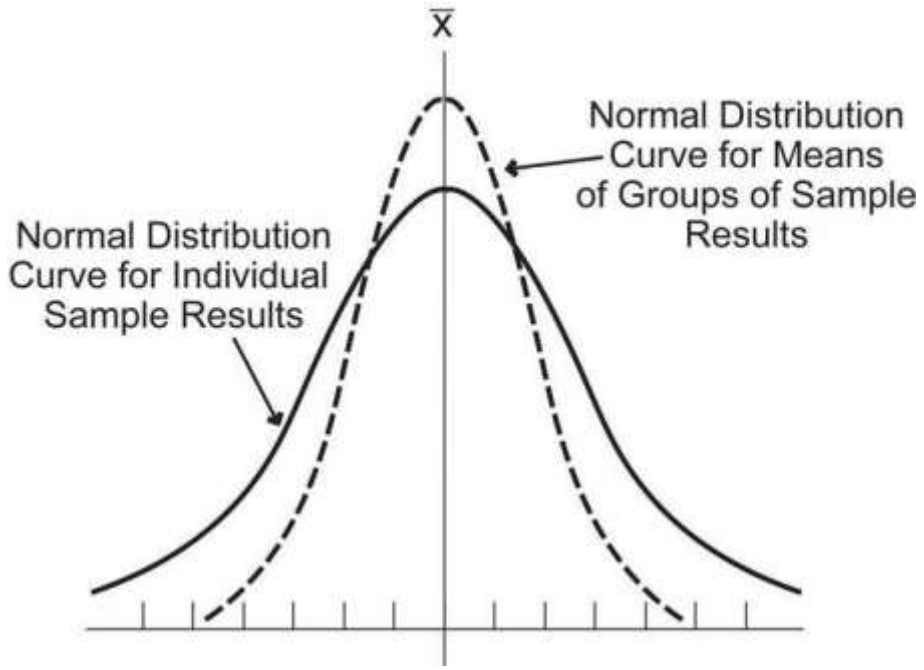
En el ejemplo anterior de la gradación de la reserva de áridos, se obtuvo aleatoriamente una muestra estadística de 126 muestras individuales de material y se representó gráficamente la distribución de frecuencias de los resultados de las pruebas de las muestras individuales. Como se ilustra en el ejemplo, las muestras individuales que representan una población (lote) de materiales de construcción (en términos de las características de calidad especificadas que se van a medir) generalmente formarán una distribución de frecuencias cercana a una ***curva de distribución normal***. Ejemplos de características de calidad que han demostrado producir distribuciones normales incluyen el contenido de ligante asfáltico del HMA, la distribución de partículas de los áridos procesados, la resistencia a la compresión y el contenido de aire del PCC, etc.

En resumen, la distribución de frecuencias de múltiples muestras individuales de materiales obtenidas de un lote (de la mayoría de los materiales de construcción) se representará mediante una curva de distribución normal correspondiente. Para describir completamente la curva de distribución normal de un lote determinado, es necesario conocer la media ($\bar{X}$) y la desviación estándar (s) del lote. La media coincidirá con el centro de la curva de distribución normal. La desviación estándar determina la forma de la curva de distribución normal.

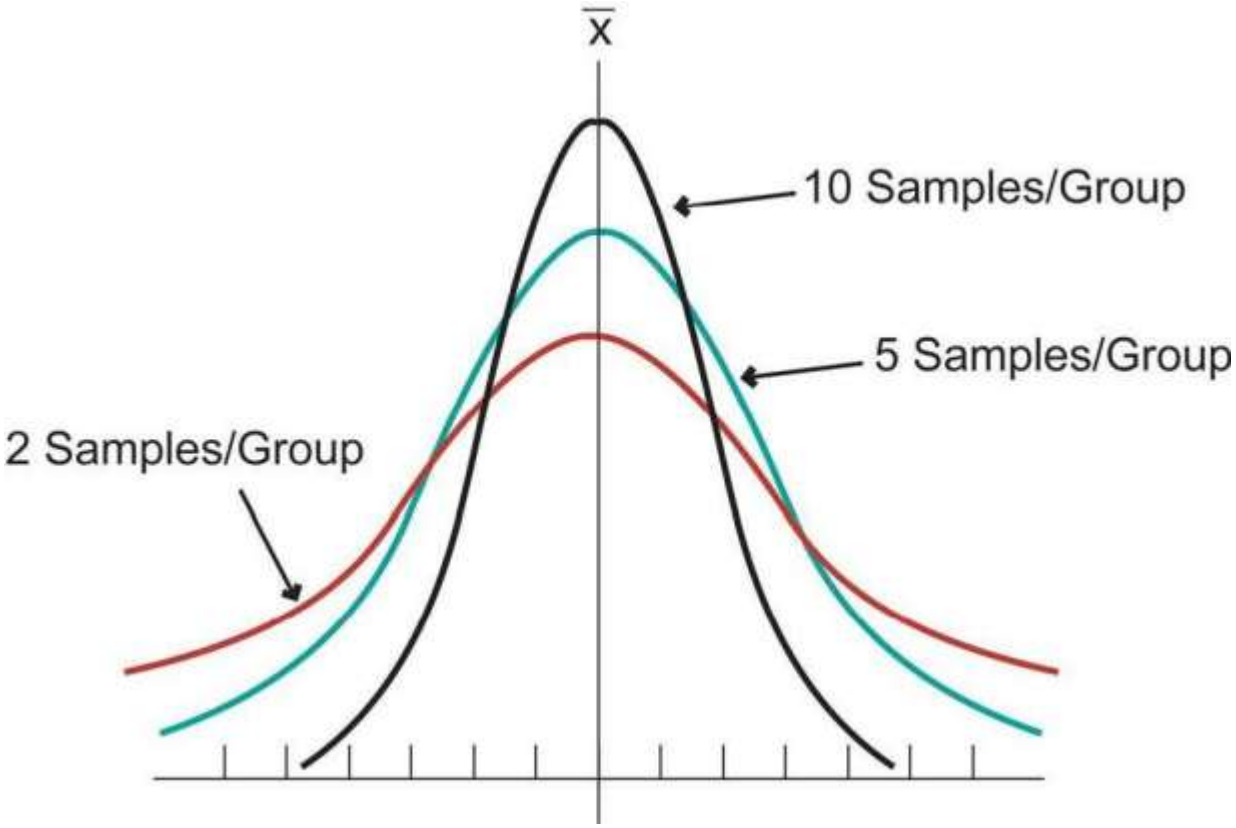
Curvas de distribución normal que representan las medias de los grupos de muestras

Como se ha comentado anteriormente, las múltiples muestras individuales de material obtenidas de un lote se representarán mediante una curva de distribución normal correspondiente. Esta relación es útil para medir la calidad de un lote. Sin embargo, existen otras aplicaciones de garantía de calidad en las que se puede utilizar la distribución de las medias de los grupos de muestras (denominadas ***medias muestrales***), en lugar de la distribución de las muestras individuales. Entre las aplicaciones específicas en las que se utiliza la distribución de las medias muestrales se incluyen el desarrollo de límites de especificación y el establecimiento de límites de gráficos de control.

La forma de la distribución de las medias de las muestras se puede derivar del ***teorema del límite central***. El teorema del límite central establece que, incluso si la forma de la distribución de la población no es normal, las medias de los grupos de muestras (para grupos de n > 1) extraídas de la población se acercarán a una distribución normal a medida que el tamaño de los grupos de muestras se acerque al infinito ($n \Rightarrow \infty$). La curva de distribución normal que representa las medias de las muestras siempre será más estrecha que la curva de distribución normal que representa múltiples muestras de material individuales, como se muestra en la figura siguiente.



Por ejemplo, supongamos que se obtuvieron 100 muestras aleatoriamente de un lote y que las muestras se dividieron aleatoriamente en grupos de 2, 5 y 10 muestras por grupo. Si se calculó la media para cada grupo de muestras (es decir, las medias muestrales) y luego se representaron gráficamente las medias muestrales para cada conjunto de grupos, la curva de distribución normal correspondiente para cada conjunto de medias muestrales se vería similar a la figura siguiente.



Algunas características significativas de una curva de distribución normal para las medias de los grupos de muestras (es decir, las medias muestrales) son las siguientes:

- El uso de las medias muestrales elimina la influencia de los valores individuales extremos.
- La distribución formada por las medias muestrales (por ejemplo, 2 muestras/grupo, 5 muestras/grupo, 10 muestras/grupo) es siempre más estrecha que la distribución formada por los valores individuales.
- El centro de la distribución formada por las medias muestrales es el mismo que el centro de la distribución formada por los valores individuales.
- Cuantas más muestras se utilicen por grupo, menor será la dispersión de la distribución de las medias muestrales.

8.6 - Uso de la desviación estándar y la dispersión de los datos

Cálculo de la desviación estándar

La desviación estándar (s) proporciona una indicación de la proximidad con la que las mediciones de muestras de materiales individuales o los valores de ensayo se agrupan alrededor de la media. Tal y como se presenta en el capítulo 7, la desviación estándar de una muestra estadística (s) se calcula tomando la raíz cuadrada de la varianza (s^2) de todos los resultados individuales de las pruebas de muestras obtenidos de un lote.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{n-1}}$$

Esta expresión matemática no es más que una forma de determinar cuál es la variabilidad general de un lote de material. En otras palabras, la desviación estándar proporciona una herramienta de medición para expresar cuántos de los valores de los resultados de las pruebas se encuentran dentro de una determinada distancia del valor medio. Si la desviación estándar es grande, los resultados de las pruebas de muestras individuales están muy dispersos alrededor de la media (es decir, hay una mayor variabilidad). Un valor de desviación estándar más pequeño indica que la mayoría de los valores de los resultados de las pruebas están muy cerca de la media (es decir, hay una menor variabilidad).

Ejemplos de aplicaciones de la desviación estándar

Continuando con los ejemplos de promedios de bateo en béisbol utilizados para ilustrar la media en la sección 8.2 y el rango en la sección 8.3, supongamos que ahora estamos en septiembre. Basándonos en los datos proporcionados sobre los últimos 5 meses, ¿qué jugador tiene más posibilidades de conseguir los hits que ayudarán a su equipo a llegar a los playoffs?

Evaluación de los promedios de bateo de los miembros del equipo						
Mes	**Babe**	**Honus**	**Ty**	**Eddie**	**Lou**	**Cap**
Abril	100	0	25	0	0	0
Mayo	150	0	190	500	500	0
Junio	25	200	50	340	0	0
Julio	200	300	210	105	450	500
Agosto	525	500	525	55	50	500
Suma (ΣX_i)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Número de muestras (n)	5	5	5	5	5	5
Media ($\bar{x} = \Sigma X_i / n$)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Alto (x_{Alto})	525	500	525	500	500	500
Bajo (x_{Bajo})	25	0	25	0	0	0
Rango ($x_{Máx.} - x_{Mín.}$)	**500**	**500**	**500**	**500**	**500**	**500**

El rango de datos se utilizó anteriormente en el ejemplo de la sección 8.3 para determinar el jugador más consistente. Sin embargo, como podemos ver en los nuevos datos anteriores, ahora todos los jugadores muestran la misma media y el mismo rango. Se necesita otra herramienta de medición para determinar qué jugador tiene más probabilidades de conseguir un hit. La desviación estándar es esa herramienta, ya que no es más que otra forma de medir la variación de los datos con respecto a la media de un grupo.

En consecuencia, a continuación se calcula la desviación estándar del promedio de bateo de cada jugador.

La desviación estándar del promedio de bateo del primer jugador (Babe) durante los últimos cinco meses se calcula a continuación paso a paso para ejemplificar el cálculo.
Las desviaciones estándar del promedio de bateo se redondean al número entero más cercano para simplificar.

Cálculo de la desviación estándar del promedio de bateo de Babe				
Mes	**Promedio de bateo** (x_i)	**Total Media** $(\bar{x})$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
Abril	100	200	-100	10 000
Mayo	150	200	-50	2500
Junio	25	200	-175	30 625
Julio	200	200	0	0
Agosto	525	200	325	105 625
	$\bar{x}$=	200,0		$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 148{,}750$

n = 5

Media ($\bar{x}$) = 200,0

$\sum(x_i - \bar{x})^2$= 148 750

$\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ = 37 187,5

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 192{,}84$$

s = 193

Se calcularon las desviaciones estándar de los promedios de bateo del resto de los jugadores durante los últimos cinco meses y se registraron de la siguiente manera:

Desviación estándar de los promedios de bateo de todos los miembros del equipo			
Jugador	**Media ($\bar{x}$)**	**Rango** ($x_{Máx.} - x_{Mín.}$)	**Desviación estándar (s)**
Babe	200,0	500	**193**
Honus	200,0	500	**212**
Ty	200,0	500	**199**
Eddie	200,0	500	**212**
Lou	200,0	500	**252**
Cap	200,0	500	**274**

Ahora que se han calculado todos los datos, podemos ver que Babe presenta la menor variación con respecto a su media de 200 (desviación estándar = 193). Por lo tanto, simplemente utilizando la desviación estándar de los jugadores (es decir, sin evaluar otras tendencias en los datos), vemos que Babe sería el jugador con más probabilidades de conseguir un hit.

Ejemplo 8-G: A continuación se presentan los resultados de la prueba de huecos de aire y los resultados de la prueba de contenido de ligante asfáltico de los ejemplos de HMA anteriores (medias calculadas en el ejemplo 8-C y rangos calculados en el ejemplo 8-E). Calcule los valores de desviación estándar para cada característica de calidad en las páginas siguientes.

Muestra	Huecos de aire (X_i)	Contenido del aglutinante (X_i)
Sublote 1	8,2	5,7
Sublote 2	3,9	5,7
Sublote 3	4,7	4,8
Sublote 4	5,4	5,2
Sublote 5	4,1	5,4
Suma (ΣX_i)	26,30	26,8
Número de muestras (n)	5	5
Media ($\bar{X} = \Sigma X_i / n$)	**5,26**	**5,36**
Alta (x_{Alta})	8,2	5,7
Bajo (x_{Bajo})	3,9	4,8
Rango ($x_{Alto} - x_{Bajo}$)	**4,3**	**0,9**

Ejemplo 8-G (continuación):

Cálculo de la desviación estándar para los huecos de aire HMA				
Sublote N.	**Huecos de aire (X_i)**	**Media ($\bar{x}$)**	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	8,2	5,26	2,94	8,6436
2	3,9		-1,36	1,8496
3	4,7		-0,56	0,3136
4	5,4		0,14	0,0196
5	4,1		-1,16	1,3456
	=			$\sum(x_i - \bar{x})^2$= 12,1720

n = 5

Media ($\bar{x}$) = 5,26

$$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 12{,}1720$$

$$\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1} = 3{,}0430$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} = 1{,}7444 \text{ (cómo valor intermedio)}$$

s = 1,7 % de huecos de aire (redondeado a 1 decimal como valor final)

Ejemplo 8-G (continuación):

Cálculo de la desviación estándar para el contenido de ligante asfáltico				
Sublote N.	**Ligante (X_i)**	**Media ($\bar{x}$)**	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	5,7	5,36	0,34	0,1156
2	5,7		0,34	0,1156
3	4,8		-0,56	0,3136
4	5,2		-0,16	0,0256
5	5,4		0,04	0,0016
	$\bar{X}$ =			$\sum(X_i - X)^2$ = 0,5720

n = 5

Media ($\bar{x}$) = 5,36

$$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 0{,}5720$$

$$\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1} = 0{,}1430$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} = 0{,}3782 \text{(como valor intermedio)}$$

s = 0,4 Porcentaje de ligante asfáltico (redondeado a 1 decimal como valor final)

Ejemplo 8-H: A continuación se presentan los resultados de los ejemplos de medición de la cubierta de PCC sobre el acero de refuerzo anteriores (media calculada en el ejemplo 8-D y rango calculado en el ejemplo 8-F). Utilizando esta información, calcule la desviación estándar (s) en la página siguiente.

Muestra	Medición de la cubierta, en pulgadas (mm)
Sublote 1	2,13 (54)
Sublote 2	2,64 (67)
Sublote 3	2,24 (57)
Sublote 4	1,89 (48)
Sublote 5	2,32 (59)
Suma (ΣX_i)	11,22 (285)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \sum x_i / n$)	**2,244 (57,0)**
Alta (x_{Alta})	2,64 (67)
Bajo (x_{Bajo})	1,89 (48)
Rango ($X_{Máximo} - X_{Mínimo}$)	**0,75 (19)**

Ejemplo 8-H (continuación):

Cálculo de la desviación estándar para la cobertura PCC				
Sublote N.	**Cobertura Medida (x_i)**	**Media ($\overline{x}$)**	$x_i - \overline{x}$	$(x_i - \overline{x})^2$
1	2,13 (54)	2,244 (57,0)	-0,114 (-3)	0,012996 (9)
2	2,64 (67)		0,396 (10)	0,156816 (100)
3	2,24 (57)		-0,004 (0)	0,000016 (0)
4	1,89 (48)		-0,354 (-9)	0,125316 (81)
5	2,32 (59)		0,076 (2)	0,005776 (4)
	$\overline{x}$ =			$\sum(x_i - \bar{x})^2$= 0,30092 (194)

n = 5

Media ($\overline{x}$) = 2,244 (57,0)

$\sum(x_i - \bar{x})^2$ = 0,30092 (194)

$\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}$= 0,07523 (48,5)

$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$= 0,2743 (6,96) como valor intermedio

intermedio

s = 0,27 pulgadas (7 mm) Cubierta

8.7 - Análisis del nivel de calidad

Definición de análisis del nivel de calidad

El enfoque más válido para medir la calidad de los materiales de construcción es determinar el porcentaje de material contenido en un lote determinado que se encuentra dentro de los límites especificados.

Obviamente, no es posible tomar muestras y analizar cada tonelada de material de un lote de HMA o cualquier otro material para el control de calidad o la aceptación en los proyectos. Sin embargo, podemos hacer una determinación razonable (estimación) de la calidad de un lote utilizando varias muestras de material y los conceptos de distribución normal y probabilidad matemática. Este procedimiento se denomina ***análisis del nivel de calidad*** (QLA), que se define de la siguiente manera:

> **Análisis del nivel de calidad (QLA)**: «Procedimiento matemático que proporciona una estimación del porcentaje de un lote que se encuentra dentro de los límites especificados (porcentaje dentro de los límites) o fuera de las especificaciones (porcentaje defectuoso)».

Uso del análisis del nivel de calidad para medir la calidad

El análisis del nivel de calidad requiere un tamaño mínimo de muestra estadística de n = 3 (3 muestras). Utilizando los datos de la muestra estadística, podemos calcular matemáticamente:

La media **(*promedio*)** de los resultados de las pruebas de la muestra.

La variabilidad **(*desviación estándar*)** de los resultados de las pruebas de la muestra.

Utilizando la media y la desviación estándar de las muestras de material, podemos determinar el nivel de calidad de la muestra estadística.

El análisis del nivel de calidad utiliza dos valores ***del índice de calidad*** **(*Q*)**. Se trata del índice de calidad inferior, denominado **«Q_L »**, y el índice de calidad superior, denominado **«Q_U »**.

El índice de calidad inferior (Q_L) se calcula restando el límite inferior de especificación (LSL) de la media ($\bar{X}$) de los resultados de las pruebas de la muestra y dividiendo esta diferencia por la desviación estándar estadística de la muestra (s).

$$Q_L = \frac{(\bar{x} - LSL)}{s}$$

El índice de calidad superior (Q_U) se calcula restando la media ($\bar{X}$) de los resultados de las pruebas de la muestra del límite superior de especificación (USL) y dividiendo esta diferencia por la desviación estándar estadística de la muestra (s).

$$Q_U = \frac{(USL - \bar{x})}{s}$$

Porcentaje dentro de los límites

Los índices de calidad (Q_L y Q_U) obtenidos con QLA se utilizan para estimar el porcentaje de material de un lote determinado que se encuentra dentro de los límites especificados. Una vez calculados Q_L y Q_U para una muestra estadística, se utiliza una tabla o hoja de cálculo para determinar ***el porcentaje*** estimado ***dentro de los límites*** **(*PWL*)** para el lote. En consecuencia, el PWL se define de la siguiente manera:

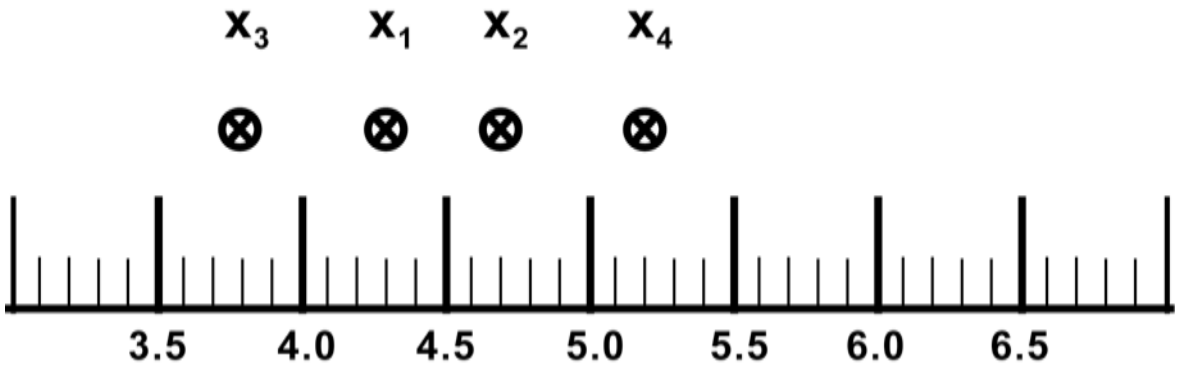
> **Porcentaje dentro de los límites (PWL)**: «El porcentaje del lote que se encuentra por encima de el límite inferior de especificación (LSL), por debajo del límite superior de especificación (USL), o entre los límites superior e inferior de especificación».

Ilustración gráfica del procedimiento QLA

El QLA utiliza la media y la desviación estándar para estimar el PWL del lote. El siguiente ejemplo ilustra cómo se compara el PWL estimado con el PWL deseado por la especificación de control de calidad.

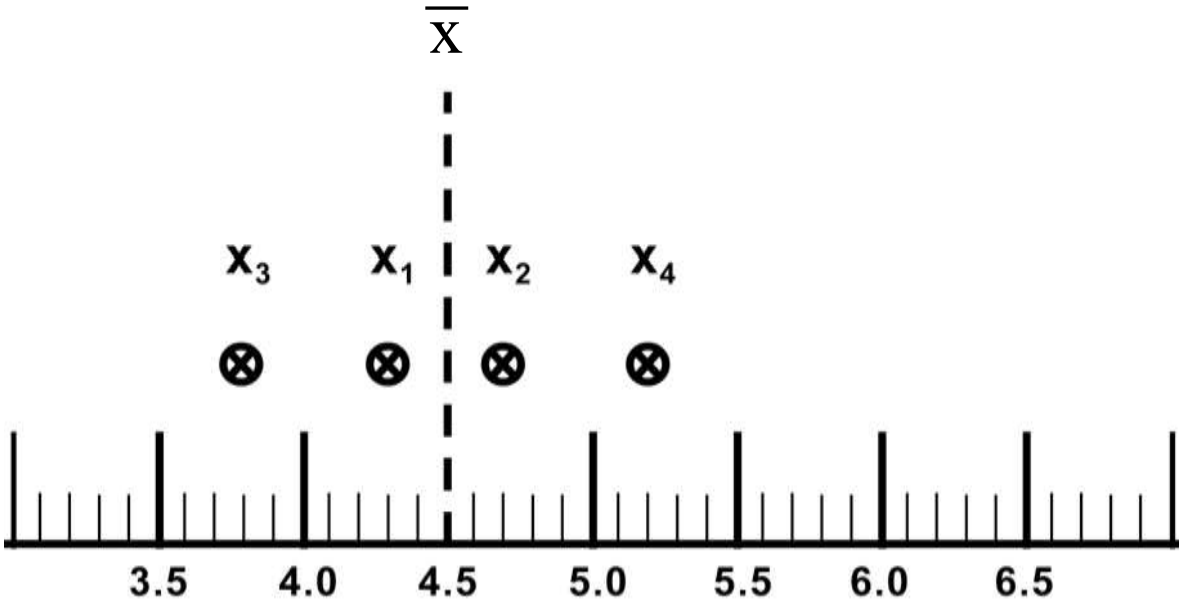
Los criterios de la especificación de control de calidad incluían un límite superior (USL) de 6, un límite inferior (LSL) de 4 y un valor objetivo de 5.

Ejemplo 8-I: Un lote de PCC se divide en 4 sublotes. Se obtiene una muestra de material de cada sublote y se analiza el contenido de aire de cada muestra. Los resultados de la prueba para esta muestra estadística de n = 4 muestras se representan a continuación.



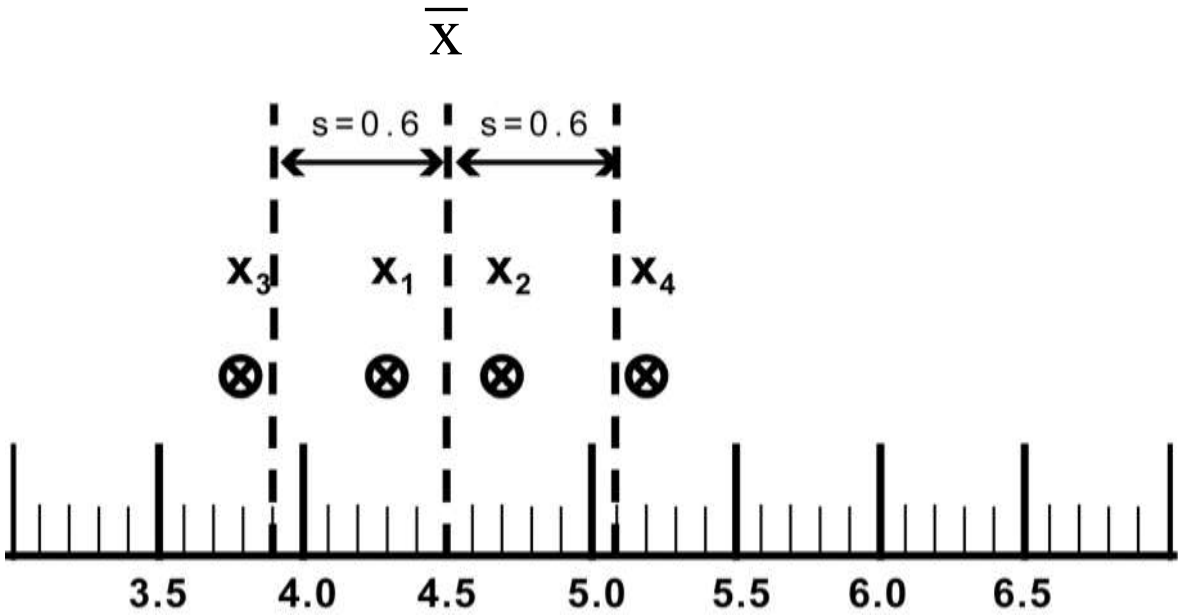
Ejemplo 8-I: Contenido de aire individual de cuatro muestras de PCC

Ejemplo 8-I (continuación): En primer lugar, se determina la media ($\overline{X}$) del contenido de aire de la muestra estadística de n = 4 muestras. La media de la muestra estadística nos proporciona una buena aproximación del contenido medio de aire de todo el lote de PCC. A continuación se representa gráficamente la media del contenido de aire de las cuatro muestras.



Ejemplo 8-I: contenido medio de aire de cuatro muestras de PCC

Ejemplo 8-I (continuación): La desviación estándar (s) de la muestra estadística de n = 4 muestras. La desviación estándar de la muestra estadística nos proporciona una estimación de la variabilidad global de todo el lote de PCC. A continuación, se muestra la desviación estándar del contenido de aire de las cuatro muestras.



Ejemplo 8-I: Desviación estándar del contenido de aire de cuatro muestras de PCC

La media y la desviación estándar de la muestra estadística pueden utilizarse para estimar matemáticamente la distribución del lote de PCC basándose en los siguientes principios conocidos:

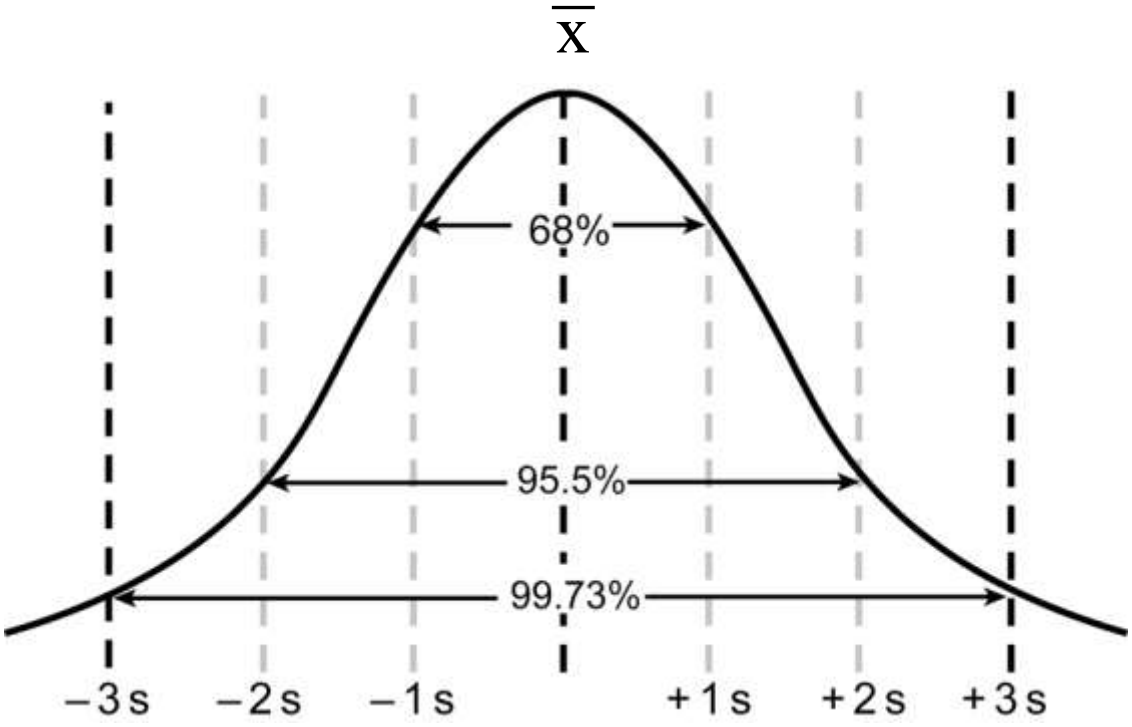
- El punto medio de la curva de distribución normal para una muestra estadística coincidirá con la media de la muestra estadística.

- La curva de distribución normal es simétrica con respecto a la media (es decir, el 50 % de los valores de las pruebas de las muestras de material estarán por debajo de la media y el 50 % por encima).

- La regla empírica establece que aproximadamente el 68 % de todas las muestras posibles se agrupan alrededor de la media dentro de ± 1 desviación estándar.

- La regla empírica establece que aproximadamente el 95,5 % de todas las muestras posibles se agrupan alrededor de la media con una desviación estándar de ± 2.

- Por lo general, cualquier muestra de material obtenida del lote tendrá un valor de prueba entre más o menos tres (3) desviaciones estándar de la media (es decir, la regla empírica establece que aproximadamente el 99,7 % de todas las muestras posibles se agrupan alrededor de la media dentro de ± 3 desviaciones estándar).



Cálculo del porcentaje dentro de los límites

Como se ha indicado anteriormente, el porcentaje dentro de los límites para un lote se obtiene utilizando los índices de calidad (Q_L y Q_U) derivados del análisis del nivel de calidad.

El porcentaje del lote que se encuentra por debajo del límite superior de especificación (USL) se representa con el término **«P_U.** ». P_U se determina a partir de una tabla de áreas bajo una curva estándar (distribución no central) o una hoja de cálculo utilizando el valor calculado de Q_U.

El porcentaje del lote que se encuentra por encima del límite inferior de especificación (LSL) se representa con el término **«P_L.** ». P_L se determina a partir de una tabla de áreas bajo una curva estándar (distribución no central) o una hoja de cálculo utilizando el valor calculado de Q_L .

A continuación, se calcula el porcentaje dentro de los límites (PWL) sumando el porcentaje estimado del lote que se encuentra por debajo del USL (P_U) al porcentaje estimado del lote que se encuentra por encima del LSL (P_L) y restando cien (100).

$$\mathbf{PWL = (P_U + P_L) - 100}$$

En las páginas siguientes se proporcionan tablas para estimar el porcentaje dentro de los límites (PWL) utilizando los índices de calidad superior e inferior (Q_U y Q_L). Estas tablas se utilizarán en los ejemplos que siguen. Los valores Q (Q_U o Q_L) se proporcionan en las tablas para diversos tamaños de muestras estadísticas (n = el número de muestras individuales en el lote).

Para los valores calculados de Q_U o Q_L que se encuentren entre los valores que se muestran en las tablas (que aparecen en las páginas siguientes), el usuario debe desplazarse hacia arriba en la tabla y seleccionar el siguiente valor PWL (positivo) más alto para el número de muestras del lote.

Para los valores calculados de Q_U o Q_L que sean superiores a los valores contenidos en las tablas (que se muestran en las páginas siguientes), el valor PWL (P_U o P_L) será 100.

Si Q_U o Q_L son valores negativos, P_U o P_L es igual a 100 menos el valor de la tabla para P_U o P_L. Tenga en cuenta que todos los valores negativos del índice de calidad tienen un PWL inferior a 50.

Tabla para estimar el porcentaje del lote dentro de los límites (PWL)

P_U o P_L, %	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
100	1,16	1,49	1,72	1,88	1,99	2,07	2,13
99	–	1,46	1,64	1,75	1,82	1,88	1,91
98	–	1,43	1,58	1,66	1,72	1,75	1,78
97	1,15	1,40	1,52	1,59	1,63	1,66	1,68
96	–	1,37	1,47	1,52	1,56	1,58	1,60
95	1,14	1,34	1,42	1,47	1,49	1,51	1,52
94	–	1,31	1,38	1,41	1,43	1,45	1,46
93	1,13	1,28	1,33	1,36	1,38	1,39	1,40
92	1,12	1,25	1,29	1,31	1,33	1,33	1,34
91	1,11	1,22	1,25	1,27	1,28	1,28	1,29
90	1,1	1,19	1,21	1,23	1,23	1,24	1,24
89	1,09	1,16	1,18	1,18	1,19	1,19	1.19
88	1,07	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1.15
87	1,06	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
86	1,04	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06
85	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02
84	1,01	1,01	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
83	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95
82	0,97	0,95	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91
81	0,95	0,92	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88
80	0,93	0,89	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84
79	0,91	0,86	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81
78	0,88	0,83	0,81	0,79	0,79	0,78	0,78
77	0,86	0,80	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74
76	0,83	0,77	0,74	0,73	0,72	0,72	0,71
75	0,81	0,74	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68
74	0,78	0,71	0,68	0,67	0,67	0,65	0,65
73	0,75	0,68	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62
72	0,73	0,65	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
71	0,7	0,62	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56
70	0,67	0,59	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53
69	0,64	0,56	0,53	0,52	0,51	0,51	0,50
68	0,61	0,53	0,50	0,49	0,48	0,48	0,48
67	0,58	0,50	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45
66	0,55	0,47	0,45	0,43	0,43	0,42	0,42
65	0,51	0,44	0,42	0,40	0,40	0,39	0,39
64	0,48	0,41	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36
63	0,45	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34
62	0,41	0,35	0,33	0,32	0,32	0,31	0,31
61	0,38	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28
60	0,34	0,28	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25
59	0,31	0,27	0,25	0,23	0,23	0,23	0,23
58	0,3	0,25	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20
57	0,25	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
56	0,2	0,18	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
55	0,18	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
54	0,15	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
53	0,1	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
52	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
51	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Si el valor de Q_U o Q_L no se corresponde con ningún valor de la tabla, utilice el valor Q inmediatamente inferior. Si Q_U o Q_L son valores negativos, P_U o P_L es igual a 100 menos el valor de la tabla para P_U o P_L.

Tabla extraída de FHWA FP-03, *Especificaciones estándar para carreteras y puentes en proyectos de carreteras federales*.

Tabla para estimar el porcentaje de lote dentro de los límites (PWL)

P_U o P_L, %	n=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a
100	2,20	2,28	2,34	2,39	2,44	2,48	2,51	2,56
99	1,96	2,01	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,16
98	1,81	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,94	1,95
97	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,79	1,80	1,81
96	1,62	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,69	1,70
95	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58	1,59	1,59	1,60
94	1,47	1,48	1,49	1,50	1,50	1,51	1,51	1,52
93	1,41	1,41	1,42	1,43	1,43	1,44	1,44	1,44
92	1,35	1,35	1,36	1,36	1,37	1,37	1,37	1,38
91	1,29	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,31	1,31
90	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,26	1,26
89	1,19	1.20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
88	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
87	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1.11	1,11	1,11
86	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
85	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
84	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
83	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
82	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
81	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
80	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
79	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79
78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
77	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
76	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
75	0,68	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66
74	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63
73	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60
72	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57
71	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54
70	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
69	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
68	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
67	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
66	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40
65	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
64	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
63	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32
62	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
61	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
60	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
59	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
58	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
57	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
56	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
55	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
54	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
53	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
52	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Si el valor de QU o QL no se corresponde con ningún valor de la tabla, utilice el siguiente valor Q inferior. Si Q_U o Q_L son valores negativos es, P_U o P_L es igual a 100 menos el valor de la tabla para P_U o P_L.
Tabla extraída de FHWA FP-03, *Especificaciones estándar para carreteras y puentes en proyectos de carreteras federales*.

Ejemplos de aplicaciones del análisis del nivel de calidad

Ejemplo 8-J: A continuación se presentan los resultados de la prueba de huecos de aire en el HMA de los ejemplos anteriores (media del ejemplo 8-C, rango del ejemplo 8-E y desviación estándar del ejemplo 8-G). Calcule el PWL para los huecos de aire de laboratorio que se indican a continuación. El límite superior de especificación (USL) es del 5,00 % y el límite inferior de especificación (LSL) es del 3,00 %.

Información	Huecos de aire HMA (P_a)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \sum x_i / n$)	**5,26**
Alta (x_{Alta})	8,2
Bajo (x_{Bajo})	3,9
Rango ($x_{Máximo} - x_{Mínimo}$)	**4,3**
Desviación estándar (s)	**1,7444**

$$Q_L = \frac{(\bar{x} - LSL)}{s} \qquad Q_u = \frac{(USL - \bar{x})}{s}$$

$$Q_L = \frac{(5{,}26 - 3{,}00)}{1{,}17444} \qquad Q_u = \frac{(5{,}00 - 5{,}26)}{1{,}7444}$$

$$Q_L = 1{,}2956 \qquad Q_u = -0{,}1490$$

$Q_L = 1{,}30$ (tabla con 2 decimales) $\qquad Q_u = -0{,}15$ (tabla con dos decimales)

Utilizando los valores calculados anteriormente para Q_U y Q_L, se obtuvieron los valores correspondientes para P_U y P_L de la columna n = 5 de la *tabla para estimar el porcentaje del lote dentro de los límites (PWL)*.

Para el valor Q_U de -0,15, busque el valor PWL para 0,15 con n = 5 (el resultado es 55) y réstelo de 100, ya que todos los valores negativos del índice de calidad tienen un PWL inferior a 50.

P_L = 92 **P_u = 100 – 55** **P_u = 45**

Utilizando P_U y P_L , el PWL se calcula de la siguiente manera:

PWL = (P_U + P_L) – 100 PWL
= (45 + 92) – 100
PWL = 37

Ejemplo 8-K: A continuación se presentan los resultados de la prueba de contenido de ligante asfáltico HMA de los ejemplos HMA anteriores (media del ejemplo 8-C, rango del ejemplo 8-E y desviación estándar del ejemplo 8-G). Calcule el PWL para el contenido de ligante asfáltico a continuación. El límite superior de especificación (USL) es del 5,3 % y el límite inferior de especificación (LSL) es del 4,7 %.

Información	Contenido de ligante asfáltico (P_b)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \sum x_i / n$)	**5,36**
Alto (x_{Alto})	5,7
Bajo (x_{Bajo})	4,8
Rango ($x_{Máximo} - x_{Mínimo}$)	**0,9**
Desviación estándar (s)	**0,378**

$$Q_L = \frac{(\bar{x} - LSL)}{s} \qquad Q_u = \frac{(USL - \bar{x})}{s}$$

$$Q_L = \frac{(5{,}36 - 4{,}7)}{0{,}378} \qquad Q_u = \frac{(5{,}3 - 5{,}36)}{0{,}378}$$

$$Q_L = 1{,}746 \qquad Q_u = -0{,}1587$$

$Q_L = 1{,}75$(tabla con 2 decimales) $\qquad Q_u = -0{,}16$(tabla con dos decimales)

Utilizando los valores calculados anteriormente para Q_U y Q_L , se obtuvieron los valores correspondientes para P_U y P_L de la columna n = 5 de la *tabla para estimar el porcentaje de lote dentro de los límites (PWL)*.

Para el valor Q_U de -0,16, se busca el valor PWL para 0,16 con n = 5 (el resultado es 56) y se resta de 100, ya que todos los valores negativos del índice de calidad tienen un PWL inferior a 50.

P_L = 100 **P_U = 100-56** **P_U = 44**

Utilizando P_U y P_L , el PWL se calcula de la siguiente manera:

PWL = (P_U + P_L) – 100
PWL = (44 + 100) – 100
PWL = 44

Ejemplo 8-L: A continuación se presentan los resultados de la prueba de cobertura PCC de los ejemplos PCC anteriores (media del ejemplo 8-D, rango del ejemplo 8-F y desviación estándar del ejemplo 8-H). Calcule el PWL para la cobertura PCC a continuación. El límite superior de especificación (USL) es de 3 pulgadas y el límite inferior de especificación (LSL) es de 2 pulgadas.

Información	Cubierta PCC, pulgadas (mm)
Número de muestras (n)	5
Media ($\bar{x} = \sum x_i / n$)	**2,244**
Alta (x_{Alta})	2,64
Bajo (x_{Bajo})	1,89
Rango ($x_{Máximo} - x_{Mínimo}$)	**0,75**
Desviación estándar (s)	**0,2743**

$$Q_L = \frac{(\bar{x} - LSL)}{s} \qquad Q_u = \frac{(USL - \bar{x})}{s}$$

$$Q_L = \frac{(2{,}244 - 2)}{0{,}2743} \qquad Q_u = \frac{(3 - 2{,}244)}{0{,}2743}$$

$$Q_L = 0{,}89 \qquad Q_u = 3{,}6086$$

$Q_L = 0{,}89$ (tabla con 2 decimales) $Q_u = 3{,}61$(tabla con dos decimales)

Utilizando los valores calculados anteriormente para Q_U y Q_L , se obtuvieron los valores correspondientes para P_U y P_L de la columna n = 5 de la *tabla para estimar el porcentaje del lote dentro de los límites (PWL)*.

P_L = 80 **P_U = 100**

Utilizando P_U y P_L , el PWL se calcula de la siguiente manera:

PWL = (P_U + P_L) – 100 PWL
= (100 + 80) – 100
PWL = 80

- FIN DEL CAPÍTULO 8 -

CAPÍTULO 9

Aplicaciones para el control de calidad

Capítulo 9

Aplicaciones para el control de calidad

Resumen del capítulo

En este capítulo se presentan las siguientes aplicaciones matemáticas para el control de calidad:

9.1 - Gráficos de control de la distribución de Pareto ( )

9.2 - Gráficos de control que utilizan valores de e es individuales

9.3 - Gráficos de control utilizando subgrupos de datos e es

9.4 - Límites para gráficos de control utilizando subgrupos de datos e es

9.5 - Evaluación de gráficos de control de datos

9.6 - Aplicación de QLA para el control de calidad de datos

9.1 - Gráficos de control

Causas aleatorias frente a causas asignables

Los materiales de construcción están sujetos a un cierto grado de variabilidad. Esta variabilidad se deriva de dos fuentes principales: ***causas aleatorias*** y ***causas asignables***. Se definen de la siguiente manera:

> **Causa aleatoria**: «Una fuente de variación inherente a cualquier proceso de producción y que no puede eliminarse, ya que se debe a causas aleatorias y previsibles».
>
> **Causa asignable**: «Una fuente de variación, normalmente debida a un error o a un cambio en el proceso, que puede detectarse mediante métodos estadísticos y corregirse dentro de límites económicos (cuando se identifican y eliminan las causas asignables, el proceso de producción está bajo control)».

Las causas aleatorias de variabilidad son inherentes a cualquier método de producción o colocación y deben esperarse. Como se indica en el capítulo 4, los tipos de variabilidad inherente que comprenden las causas aleatorias incluyen: variabilidad de muestreo, variabilidad de pruebas, variabilidad de materiales y variabilidad de la construcción. Las causas asignables de variabilidad son aquellas que pueden demostrarse (asignarse) directamente como causantes de una variación en el proceso.

Discernir la diferencia entre causas aleatorias y causas asignables puede ser un proceso difícil. Los gráficos de control no eliminan la variabilidad ni señalan dónde se encuentra el problema dentro del proceso, ni siquiera cómo corregirlo, pero algunas formas de gráficos de control ayudan a distinguir entre las causas aleatorias inherentes de la variabilidad y las causas asignables.

Definición de gráfico de control

Los gráficos de control son herramientas útiles para supervisar y garantizar la calidad de un producto. Un gráfico de control (también denominado gráfico de control estadístico) se define de la siguiente manera:

> **Gráfico de control**: «Representación gráfica de las mediciones de control de calidad o los valores de prueba utilizados para identificar variaciones en un proceso de producción o colocación debidas a causas aleatorias o causas asignables».

Usos y ventajas de los gráficos de control

Un contratista (es decir, un contratista principal, subcontratista, productor, fabricante o fabricante) puede utilizar un gráfico de control como ayuda en el control de calidad de un proceso de producción o colocación. Las agencias también deben estar interesadas en el uso adecuado de los gráficos de control, ya que a menudo deben determinar si el contratista los está aplicando correctamente. Algunos de los usos de los gráficos de control son:

- Detección temprana de problemas.
- Establecimiento de la capacidad del proceso.
- Herramienta para identificar la variabilidad de los procesos de producción o colocación.
- Uso como registros permanentes de calidad.
- Uso como base para modificar los límites de las especificaciones.

Algunas de las ventajas de los gráficos de control son:

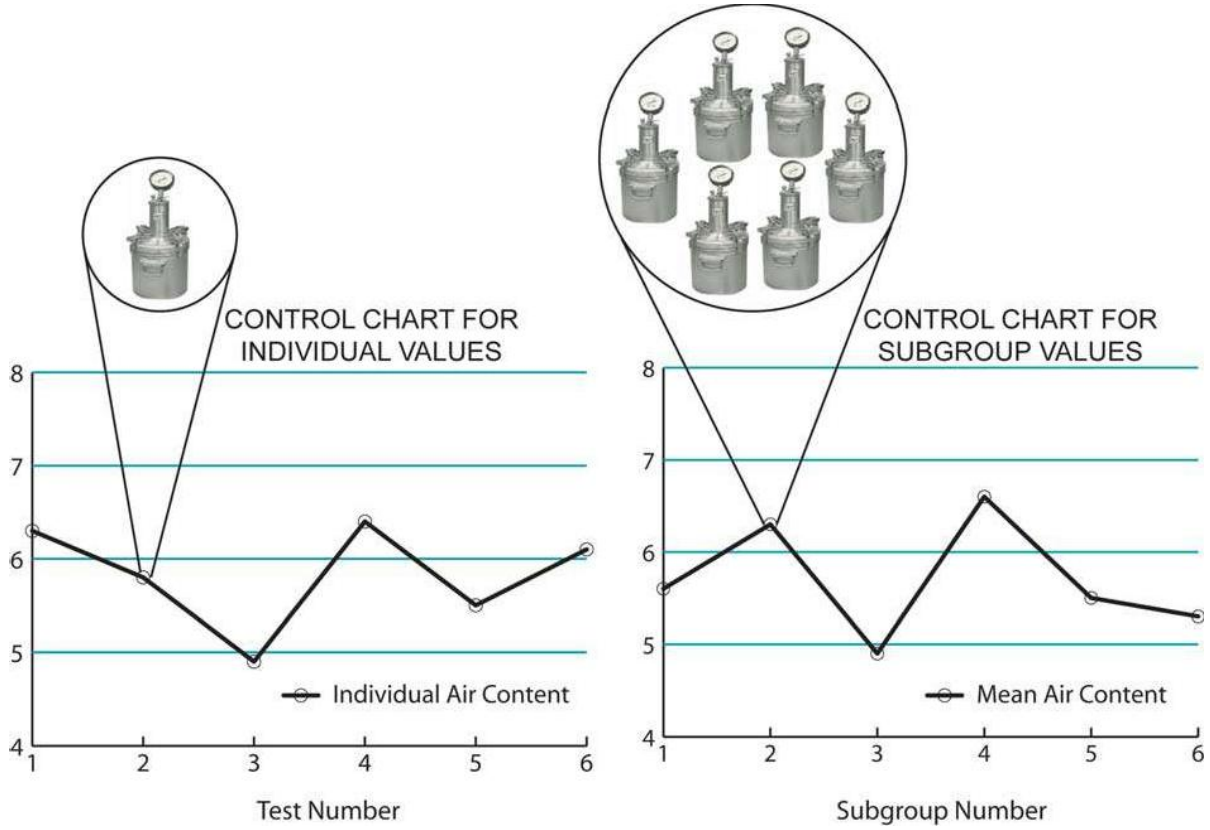
- Disminución de la variabilidad general del producto.
- Ayuda a conseguir ajustes salariales más elevados.
- Inculca la conciencia de la calidad.

Tipos de gráficos de control

Existen dos formas básicas de gráficos de control:

- Gráficos de control que trazan mediciones individuales o valores de prueba.
- Gráficos de control que trazan subgrupos de mediciones de valores de prueba.

El primer tipo de gráficos de control se utiliza para registrar los resultados de muestras individuales de control de calidad de materiales durante un período determinado. El segundo tipo de gráficos de control traza los resultados de un subgrupo de muestras de control de calidad para determinar si una variación aparentemente grande en una característica del material se debe a una causa aleatoria o a una causa asignable.



9.2 - Gráficos de control que utilizan valores individuales

Definición de gráfico de series

La forma más común de gráfico de control que utiliza valores individuales se conoce como ***gráfico de series*** (también llamado gráfico de barras musicales)***.*** Un gráfico de series se define de la siguiente manera:

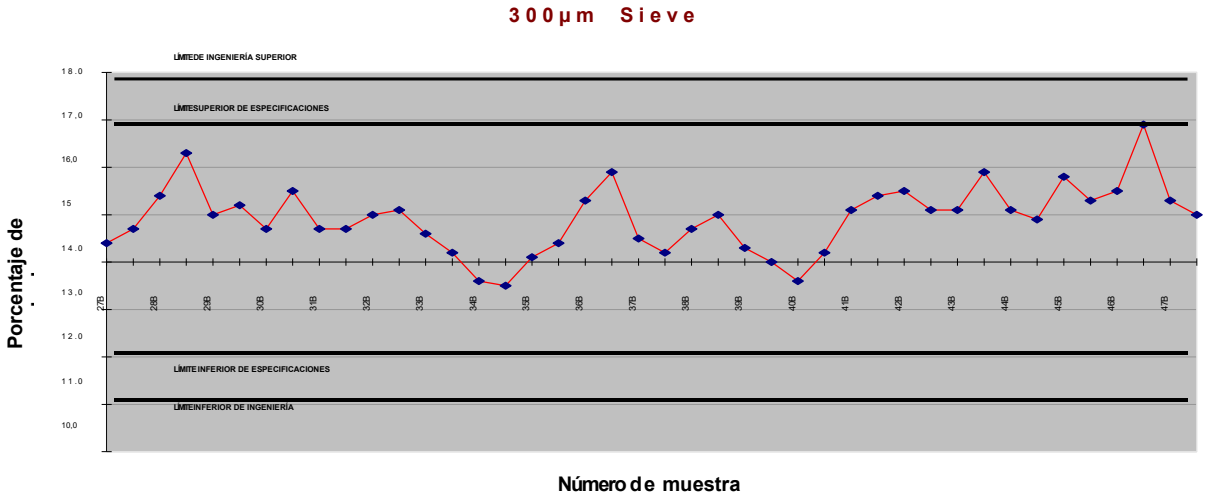
> **Gráfico de tendencia**: «Gráfico de control que presenta mediciones individuales o valores de prueba para una característica de calidad específica en un eje vertical y los números de muestra individuales (en orden consecutivo) en un eje horizontal».

Los gráficos de tendencia trazan los valores de muestras de material individuales (n = 1) y suelen comparar las mediciones o los resultados de las pruebas con los límites de especificación y/o los límites de ingeniería. Sin embargo, los gráficos de tendencia también pueden utilizar límites de gráficos de control derivados estadísticamente (véase la sección 9.4 más adelante).

Objetivos y límites para gráficos de control

Los objetivos de los gráficos de ejecución suelen ser establecidos por el contratista para su proceso en relación con una característica de calidad concreta dentro de las especificaciones y/o los límites de ingeniería. El objetivo debe coincidir con una capacidad de proceso media conocida o supuesta. Por ejemplo, basándose en el desarrollo de un diseño de mezcla específico (HMA, PCC, etc.), un productor utilizaría normalmente el valor objetivo del diseño de la mezcla como objetivo para el gráfico de ejecución. Los límites que se suelen utilizar en los gráficos de ejecución son los límites de especificación y/o los límites de ingeniería.

Aunque los gráficos de ejecución son sencillos, tienen la desventaja de que no proporcionan una indicación tan buena de si el proceso está bajo control. Este tipo de gráfico de control es un punto de partida para el control de calidad, pero, como se comentará más adelante (véase la sección 9.3), existen gráficos más potentes que se pueden utilizar.



Ejemplos de gráficos de ejecución

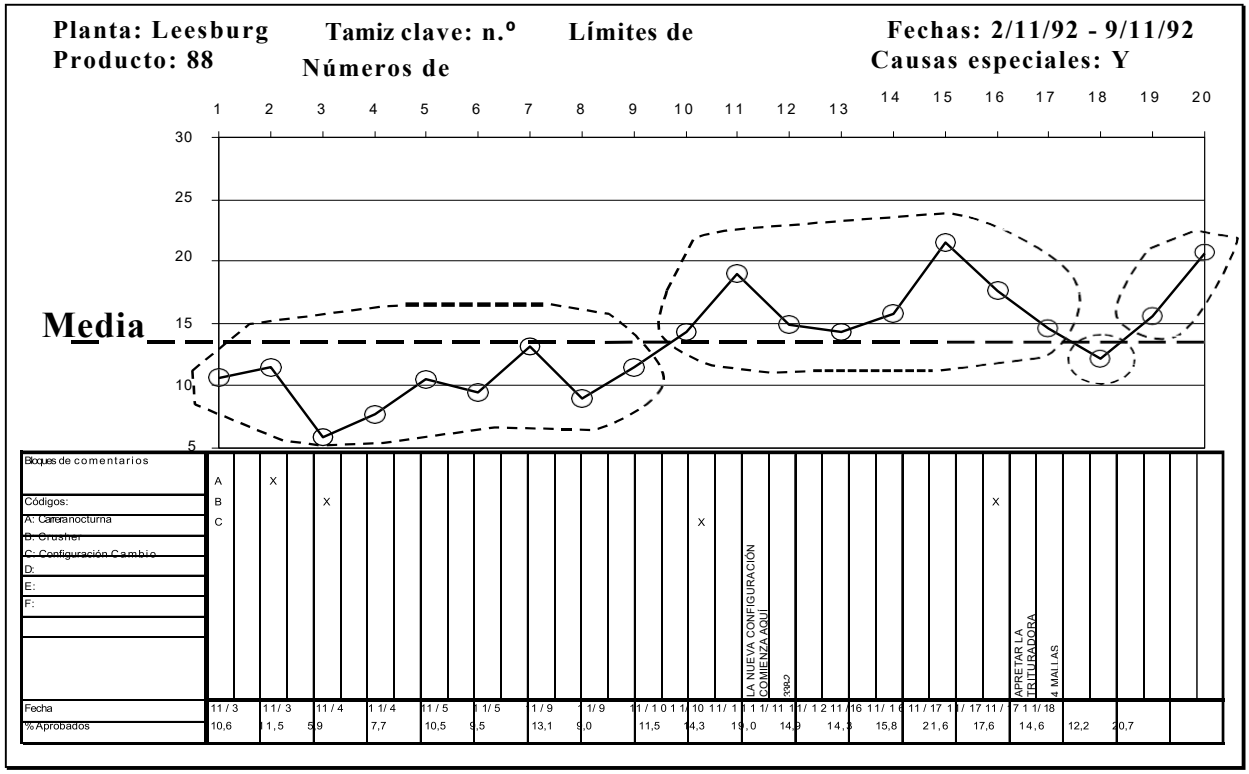
Ejemplo 9-A: A continuación se presenta un gráfico de ejecución típico de un estudio de caso de Luck Stone Corporation, elaborado a partir del Proyecto de demostración 89 de la FHWA, sesión VI, titulado *«Elementos de un programa de control de calidad»*.

El caso práctico que se presenta aquí tiene la forma de un gráfico de ejecución utilizado por Luck Stone Corporation en su planta de Leesburg, Virginia. El gráfico está configurado para pruebas individuales de una piedra n.º 88. El gráfico utiliza una combinación de límites de especificación (5 a 30 % de aprobación) y límites de proceso de la planta.

Para controlar la piedra n.º 88, se identifica el tamiz n.º 4 como el tamiz clave para medir el efecto del cambio en la «configuración». Las configuraciones son la documentación requerida (por Luck Stone) para medir cada cambio en el proceso de control de la piedra. Las configuraciones contienen datos sobre los ajustes necesarios de la trituradora, la ubicación de los distintos tamaños de cribado, el tamaño de la criba y el tamaño de la malla metálica. El tipo de criba, la rotación de la trituradora y las compuertas de mezcla utilizadas también se incluyen en los datos de configuración.

En este estudio de caso, se presentan pruebas que muestran el impacto del cambio de configuración en la gradación mediante el cambio de tendencias de una configuración (n.º 1-9) a otra (n.º 10-20). El cambio de configuración fue necesario porque el material era más grueso de lo deseado debido a

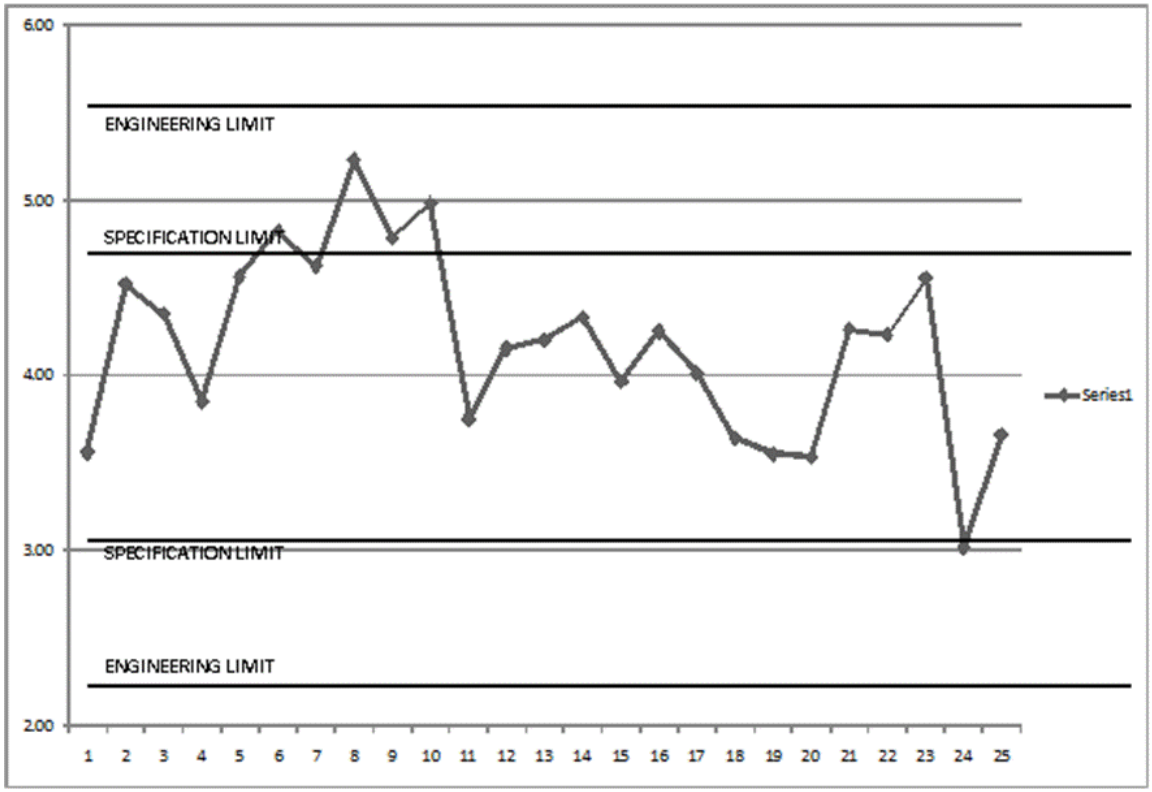
Desgaste del revestimiento de la trituradora. A medida que los revestimientos alcanzan su límite de desgaste, la geometría de trituración cambia, lo que produce un producto más grueso. El técnico de la planta observó una «serie» de 9 pruebas (n.º 1-9) que se encontraban en el lado grueso de la media objetivo, lo que indicaba un cambio significativo. (Una serie es el número de resultados que se encuentran en el mismo lado de la media objetivo). Para compensar este desgaste del revestimiento, se cambió el tamaño de la malla metálica de 1/4" a 3/16", lo que hizo que el producto fuera más fino. El cambio fue eficaz, como lo demuestra la prueba n.º 10, que se situó ligeramente por encima de la media objetivo.



Ejemplo 9-B: Una planta de producción de HMA supervisó los huecos de aire de laboratorio de una mezcla de HMA durante la producción de un lote utilizando un gráfico de ejecución. El lote contenía 25 sublotes y el valor de huecos de aire de cada muestra individual de cada sublote se representó en el gráfico de ejecución. Los límites utilizados en el gráfico de ejecución fueron los límites de especificación y los límites de ingeniería de las especificaciones de control de calidad de la agencia. Estos resultados representan las muestras de control de calidad del contratista obtenidas durante la producción del lote de HMA probado por la agencia en el ejemplo 8-C. A continuación se muestran las tablas que resumen los valores de los resultados de las pruebas de los 25 sublotes y el gráfico de ejecución en el que se representan estos valores.

Sublote	Huecos de aire (P_a)
1	3,6
2	4,5
3	4,4
4	3,9
5	4,6
6	4,8
7	4,6
8	5,2
9	4,8
10	5,0
11	3,8
12	4,2
13	4,2
14	4,3
15	4,0
16	4,3
17	4,0
18	3,6
19	3,6
20	3,5
21	4,3
22	4,2
23	4,6
24	3,0
25	3.7

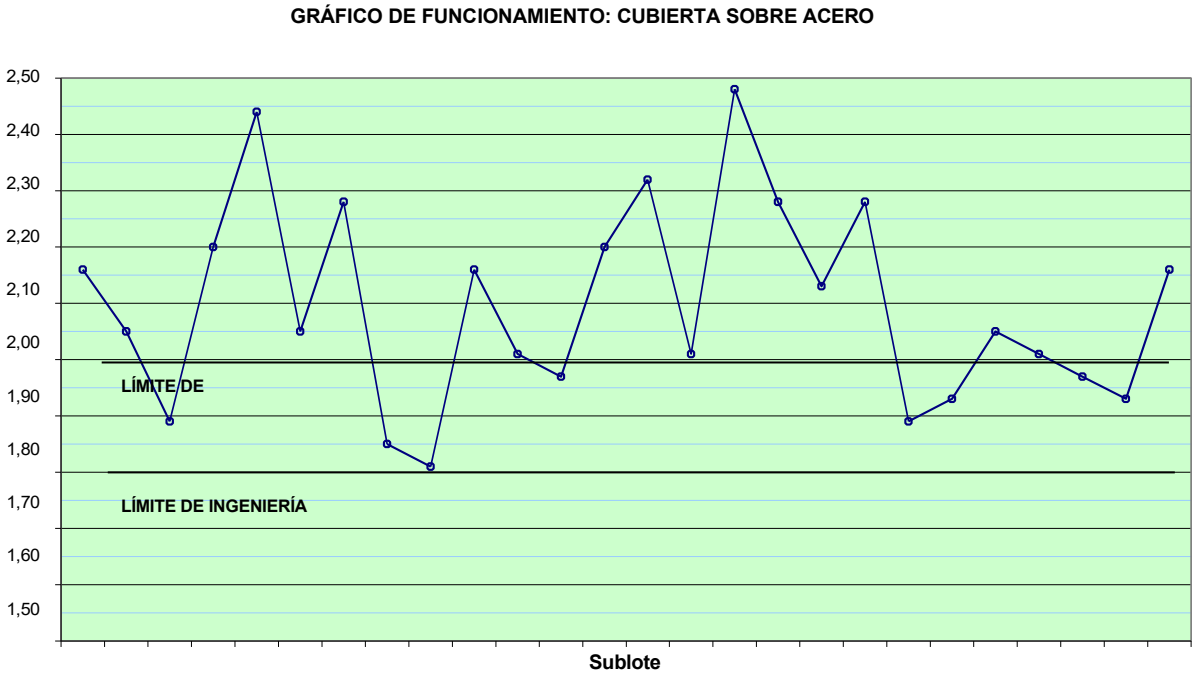
Ejemplo 9-B (continuación):



Ejemplo 9-C: Un contratista midió la cubierta de PCC sobre el acero de refuerzo en el tablero de un puente y representó gráficamente los siguientes resultados para cada sublote en un gráfico de control. Los límites utilizados en el gráfico de control fueron los límites de especificación y los límites de ingeniería de las especificaciones de control de calidad de la agencia. Estos resultados representan los valores de la prueba de control de calidad de la cubierta obtenidos por el contratista para el lote de PCC probado por la agencia en el ejemplo 8-D.

Sublote	Cubierta, pulgadas (mm)
1	2,16 (55)
2	2,05 (52)
3	1,89 (48)
4	2,20 (56)
5	2,44 (62)
6	2,05 (52)
7	2,28 (58)
8	1,85 (47)
9	1,81 (46)
10	2,16 (55)
11	2,01 (51)
12	1,97 (50)

Sublote	Cubierta, pulgadas (mm)
14	2,32 (59)
15	2,01 (51)
16	2,48 (63)
17	2,28 (58)
18	2,13 (54)
19	2,28 (58)
20	1,89 (48)
21	1,93 (49)
22	2,05 (52)
23	2,01 (51)
24	1,97 (50)
25	1,93 (49)



9.3 - Gráficos de control utilizando subgrupos de datos

Subgrupos

A diferencia de los gráficos de ejecución, que trazan valores de muestras individuales, otros gráficos de control trazan los resultados de ***subgrupos*** compuestos por múltiples muestras (n > 1).

Para determinar la variabilidad inherente a la producción o colocación de un material determinado, el proceso debe someterse a un muestreo aleatorio durante un largo periodo de tiempo.
Dado que las mediciones individuales duplicadas no siempre serán idénticas (debido a la variabilidad inherente), los resultados individuales no se pueden predecir con precisión. Sin embargo, los grupos de un proceso constante tienden a ser predecibles.

En consecuencia, los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos, en lugar de resultados de muestras individuales, se utilizan para evaluar la consistencia de un proceso. Todos los valores dentro de un subgrupo deben estar relacionados lógicamente. El tamaño mínimo del subgrupo debe ser n = 2. Normalmente, se utilizan tamaños de subgrupo en el rango de n = 3 a 5. Un subgrupo, cuando se trabaja con gráficos de control, se define de la siguiente manera:

> **Subgrupo**: «Conjunto (n > 1) de valores de muestra de control de calidad de un lote, cuya media o rango se representan en un gráfico de control».

Tipos de gráficos de control que utilizan subgrupos de datos

Existen tres tipos principales de gráficos de control que utilizan subgrupos de datos y que se utilizan normalmente para el control de calidad de los materiales de construcción para el transporte:

- $\bar{X}$ Gráfico X (gráfico de control para medias, leído como «gráfico X-Bar»)
- Gráfico R (gráfico de control para rangos)
- Gráfico de media móvil

Como se describirá a continuación, estos gráficos cumplen una función específica en la supervisión y el control de la producción o la colocación de materiales de construcción.

$\bar{X}$ Gráfico X

Un gráfico X-Bar es un gráfico de control estadístico que traza la ***media general*** de las medias de los subgrupos basándose en n_s , o el número de subgrupos, y se define de la siguiente manera:

> **Gráfico de barras X**: «Gráfico de control que representa los valores medios ($\bar{X}$) de subgrupos de mediciones o valores de prueba frente a límites de control derivados estadísticamente.

La media general ($\bar{\bar{X}}$) se define de la siguiente manera:

> **Media general**: «La suma de las medias de conjuntos o subgrupos de datos dividida por el número total de conjuntos o subgrupos».

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{n_s}$$

Gráfico R

Un gráfico R es un gráfico de control estadístico que traza el ***rango medio*** de los rangos de los subgrupos basándose en n_s , o el número de subgrupos, y se define de la siguiente manera:

Gráfico R: «Gráfico de control que representa los valores del rango (R) para subgrupos de mediciones o valores de prueba frente a límites de control derivados estadísticamente».

El rango medio ($\overline{R}$) se define de la siguiente manera:

Rango medio: «La suma de los rangos de conjuntos o subgrupos de datos dividida por el número total de conjuntos o subgrupos».

$$\overline{R} = \frac{\sum R}{n_s}$$

Gráfico de media móvil

Un ***gráfico de media móvil*** se define de la siguiente manera:

Gráfico de media móvil: «Gráfico de control que traza una media móvil para un número predefinido de valores de muestra o valores de subgrupo».

Los gráficos de media móvil mitigan el efecto de la «dispersión» de las muestras individuales que puede producirse al trazar resultados individuales (como en los gráficos de ejecución). Por lo tanto, los gráficos de media móvil son más graduales, ya que se ha filtrado la variabilidad individual. Los cambios perceptibles en los gráficos de media móvil son indicativos de cambios significativos en el proceso, ya que no es simplemente el valor de la prueba individual lo que ha cambiado, sino el valor medio de la prueba de varias muestras.

La ventaja de utilizar conjuntamente gráficos X y gráficos R

Dos de los gráficos de control estadístico más útiles para el control de procesos de materiales de construcción son el gráfico de control de medias (gráfico $\overline{X}$) y el gráfico de control de rangos (gráfico R). Ambos gráficos son necesarios para estimar si un proceso para una población determinada está bajo control. El gráfico X se utiliza para determinar cuándo cambia el centro

(media del proceso) cambia. El gráfico R se utiliza para determinar cuándo cambia la dispersión (variabilidad del proceso).

Los gráficos de control que trazan subgrupos de datos para el control de procesos siempre se basan en las medias de los datos y el rango de un subgrupo de tamaño n.
> 1. Una de las razones principales es que la distribución de las medias estadísticas de las muestras tiende a ser normal. Por lo tanto, incluso si el lote subyacente (población) del que se toman las muestras no es normal, la distribución de las medias estadísticas de las muestras será aproximadamente normal. Se utilizan 3 desviaciones estándar (±) de las medias estadísticas de la muestra como límites de control para identificar cuándo el proceso está fuera de control.

Para obtener el control del proceso (es decir, para asumir su previsibilidad), es necesario conocer el comportamiento entre los subgrupos (gráfico X) y también descubrir si existen o no causas asignables dentro de los subgrupos o muestras estadísticas. El uso de un gráfico R para el control del proceso evita la posibilidad de no detectar los efectos de promediado de dos resultados de prueba extremadamente opuestos en el gráfico X. Juntos, el gráfico X y el gráfico R extienden una red de la que es difícil escapar a una causa asignable.

9.4 - Límites para los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos

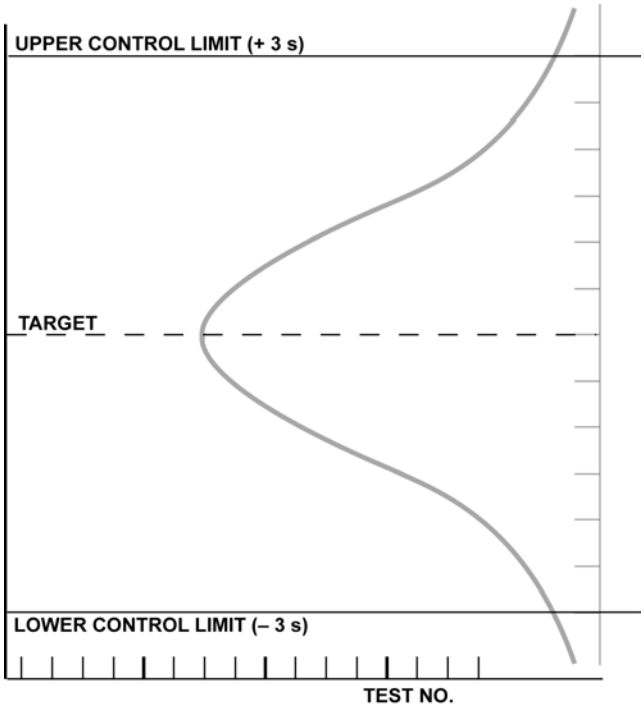
Definición de los límites de los gráficos de control

El elemento clave en el uso de gráficos de control que utilizan subgrupos de datos es la designación adecuada de los ***límites del gráfico de control*** (también denominados límites de acción). Los límites de los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos no deben confundirse con los límites de calidad utilizados para la aceptación en la especificación de control de calidad de una agencia. En consecuencia, los límites del gráfico de control se definen de la siguiente manera:

> **Límites de la carta de control**: «Límites derivados estadísticamente que se aplican a una carta de control para controlar la producción o la colocación de materiales».

Los límites de la carta de control se expresan como el límite de control superior (UCL) y el límite de control inferior (LCL). Cuando los valores de las características del material se encuentran dentro de estos límites, el proceso está bajo control. Cuando los valores se encuentran fuera de los límites, hay indicios de que existe alguna causa asignable que hace que el proceso esté «fuera de control».

Un gráfico de control se basa en el hecho de que podemos suponer, a efectos prácticos, que la distribución de las mediciones en torno al valor medio se produce dentro de ± 3 desviaciones estándar de la media. Por lo tanto, el gráfico de control puede considerarse como una curva normal en forma de campana girada sobre su lado. A continuación, se trazan líneas horizontales desde el centro de la curva (distribución normal en forma de campana) y desde puntos de la base a diferentes distancias de desviación estándar del centro. Para una curva normal, prácticamente todas las mediciones



Los resultados (aproximadamente 1 de cada 370 no lo hará) normalmente deben situarse entre la media de la población y ± 3 desviaciones estándar de la media. Se pueden trazar líneas en el gráfico de control en los puntos 3 s (3 desviaciones estándar del lote) y 2 s (2 desviaciones estándar del lote), que representan los límites de acción y los límites de advertencia, respectivamente. Un límite de 4 s (4 desviaciones estándar del lote) no detectaría la mayoría de las causas asignables que actúan sobre el sistema. Por otro lado, si los límites fueran de 2 s, se interpretarían indicaciones falsas de causas asignables y se gastaría mucho tiempo y dinero en buscar problemas inexistentes. Por lo tanto, los límites superior e inferior del gráfico de control se establecen normalmente en ± 3 desviaciones estándar del valor objetivo.

Existen dos enfoques para establecer los límites de los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos. En el primer enfoque, la media y la desviación estándar del lote (población) se conocen a través de los datos históricos de control de calidad. Los datos históricos no deben estar sesgados. Recuerde que los datos históricos de las pruebas no deben utilizarse para estos límites de los gráficos de control, a menos que los datos se hayan obtenido de forma aleatoria.

En el segundo enfoque, la media y la desviación estándar del lote (población) se desconocen y deben estimarse. A continuación se explica el proceso recomendado para estimar estos límites de prueba.

Límites de advertencia

Los límites de advertencia se utilizan normalmente con los límites del gráfico de control (límites de acción) y se definen de la siguiente manera:

> **Límites de advertencia**: «Límites establecidos dentro de los límites superior e inferior del gráfico de control que trazan subgrupos de datos. Se utilizan para advertir de posibles problemas en el proceso de producción o colocación que pueden provocar que el proceso se salga de control».

Los límites de advertencia se establecen en ±2 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. Los límites de advertencia no se utilizan con gráficos de control que trazan valores de muestras individuales (es decir, gráficos de ejecución).

Estimación de los límites para la media y la desviación estándar de lotes desconocidos

Cuando se desconocen la media y la desviación estándar de la población, deben estimarse utilizando datos válidos anteriores o datos de producción tempranos (con más de 20 valores) para establecer los límites de prueba durante las etapas iniciales del uso del gráfico de control.

Cuando se utilicen múltiples subgrupos de datos iniciales para el desarrollo de los límites del gráfico de control, asegúrese de considerarlos como límites de control de prueba. Estos límites de control de prueba deben calcularse a partir de datos que estén libres de causas asignables de variación, de lo contrario, los límites de control se establecerán con un margen demasiado amplio y no se aprovechará todo su potencial
. Para garantizar que las causas asignables no influyan en la ubicación de los límites de control de prueba, los subgrupos iniciales y los límites de prueba se trazan en los gráficos de control.

Si los subgrupos utilizados para calcular los límites de control del ensayo los superan, se debe investigar el problema que causa esos puntos extremos. Si la investigación da como resultado la identificación y corrección de las causas asignables responsables de esos puntos fuera de control, entonces esos puntos deben eliminarse y calcularse nuevos límites de control. Si estos nuevos límites de prueba muestran subgrupos adicionales fuera de control, también se deben investigar los subgrupos correspondientes. Cabe destacar que los puntos fuera de los límites de control de prueba no deben eliminarse a menos que se pueda corregir la causa asignable de la variación responsable de esos puntos fuera de control. Si no se encuentra ninguna causa asignable, esos subgrupos deben permanecer en los cálculos de los límites de control.

Cálculo de los límites para los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos

Para determinar los límites de los gráficos de control que utilizan subgrupos de datos, se requieren los siguientes parámetros:

- Media general ($\bar{\bar{X}}$) $\quad \bar{\bar{X}} = \dfrac{\sum \bar{x}}{n_s}$
- Rango medio ($\bar{R}$) $\quad \bar{R} = \dfrac{\sum R}{n_s}$
- n_s = número de subgrupos
- Factores del gráfico de control (véase la tabla siguiente)

Los factores del gráfico de control se obtienen de tablas de referencia estándar. Los factores (A_2, D_3, D_4) dependerán del tamaño de la muestra estadística (n) y se publican en referencias estándar (véase la tabla siguiente). El factor A_2 incorpora los siguientes elementos en un único factor para establecer los límites del gráfico de control:

- Un factor para estimar la desviación estándar, σ, a partir del rango, R.
- División por $\sqrt{n}$ para tener en cuenta $\sigma_{\bar{x}} = (\sigma/\sqrt{n})$.
- Multiplicación por 3 para tener en cuenta 3 desviaciones estándar de la media.

Los límites del gráfico de control para los gráficos X-Bar se determinan utilizando la fórmula $\bar{\bar{X}} \pm (A_2 \times \bar{R})$. Esta fórmula es una estimación de la fórmula $\bar{\bar{X}} \pm 3(\bar{\bar{\sigma}} / \sqrt{n})$. Para el gráfico X-Bar, el valor objetivo será la media general, que debe ser compatible con el objetivo de la especificación de control de calidad o el objetivo aprobado de la fórmula de mezcla de trabajo (JMF). Para el gráfico R, el valor objetivo es el rango medio y los límites del gráfico de control se calculan como se muestra a continuación.

Los límites del gráfico de control para los gráficos R se definen como $\bar{R} \pm 3\sigma_R$. Sin embargo, ninguna fórmula simple fórmula sencilla que dé el rango medio esperado ($\bar{R}$) o la desviación estándar de todos los rangos de los subgrupos (σ_R). No obstante, estos pueden estimarse utilizando los factores D_3 y D_4 . Utilizando estos factores, los límites de 3 sigmas se pueden calcular a partir de un $\bar{R}$ observado como:

$$\bar{R} + 3\sigma_R = D_4 \bar{R}$$

$$\bar{R} - 3\sigma_R = D_3 \bar{R}$$

Factores para desarrollar los límites de los gráficos de control*			
Tamaño del subgrupo	$\bar{X}$Chart	Gráfico de rango	Gráfico de rango
	A_2	D_3	D_4
2	1,88	0	3,27
3	1,02	0	2,57
4	0,73	0	2,28
5	0,58	0	2,11
6	0,48	0	2,00
7	0,42	0,08	1,92
8	0,37	0,14	1,86
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78
11	0,29	0,26	1,74
12	0,27	0,28	1,72
13	0,25	0,31	1,69
14	0,24	0,33	1,67
15	0,22	0,35	1,65
16	0,21	0,36	1,64
17	0,20	0,38	1,62
18	0,19	0,39	1,61
19	0,19	0,40	1,60
20	0,18	0,41	1,59

Tamaño del subgrupo: número de muestras en cada subgrupo
A_2 - Factor del gráfico de control utilizado para calcular los límites de control superior e inferior para el gráfico X-Bar
D_3 - Factor utilizado para calcular el límite de control inferior para el gráfico R D_4 - Factor utilizado para calcular el límite de control superior para el gráfico R

*Factores para determinar a partir de $\bar{R}$ los límites de control de 3 desviaciones estándar para los gráficos $\bar{X}$ y R de *Control estadístico de calidad de la construcción de carreteras - Volumen 2*, Tabla 22-4; Universidad Estatal de Pensilvania (Adaptado por NETTCP).

Las siguientes ecuaciones se utilizan para determinar los límites de control superior (UCL) y los límites de control inferior (LCL) tanto para el gráfico X como para el gráfico R.

El límite de control superior (UCL) para el gráfico $\bar{X}$ se calcula de la siguiente manera:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R})$$

El límite de control inferior (LCL) para el gráfico $\bar{X}$ se calcula de la siguiente manera:

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$$

El límite de control superior (UCL) para el gráfico R se calcula de la siguiente manera:

$$UCL_R = D_4 \times \bar{R}$$

El límite de control inferior (LCL) para el gráfico R se calcula de la siguiente manera:

$$LCL_R = D_3 \times \bar{R}$$

Donde:

$\bar{\bar{X}}$ = Media general, es decir, la media global de las medias muestrales R
$\bar{}$ Rango medio, es decir, la media global de los rangos muestrales A_2 = Factor de la tabla anterior (véase la página 9-20)
D_3 = Factor de la tabla anterior (véase la página 9-20) D_4 = Factor de la tabla anterior (véase la página 9-20)

Límites del gráfico de control Ejemplo

Ejemplo 9-D: Un contratista obtuvo núcleos de control de calidad de un pavimento HMA cada día después de que la capa se hubiera enfriado, con el fin de calcular los huecos de aire in situ. El contratista definió la producción diaria como un subgrupo. Cada subgrupo constaba de cinco muestras (de la A a la E). Calcule los límites del gráfico de control (UCL y LCL) tanto para un gráfico X como para un gráfico R para los datos del lote que se muestran a continuación y represente estos límites en el gráfico X y en el gráfico R.

Número de subgrupo	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D	Muestra E	Media ($\bar{X}$)	Rango (R)
1	7,0	5,0	9,0	6,0	8,0	7,00	4,0
2	4,0	9,0	7,0	3,0	6,0	5,80	6,0
3	2,0	7,0	5,0	8,0	7,0	5,80	6,0
4	6,0	6,0	9,0	4,0	7,0	6,40	5,0
5	3,0	9,0	7,0	4,0	5,0	5,60	6,0
6	7,0	8,0	5,0	7,0	6,0	6,60	3,0
					∑ =	**37,20**	**30,0**

En primer lugar, recordemos los pasos para determinar la media general y el rango medio:

Paso número 1: Sume los resultados de las pruebas de cada subgrupo y divida por el número de resultados (n). Esto da como resultado la media ($\bar{X}$) de cada subgrupo (véase la tabla anterior).

Paso número 2: Dentro de cada subgrupo, reste el valor más bajo del resultado de la prueba del valor más alto del resultado de la prueba. Esto da como resultado el rango (R) para cada subgrupo (véase la tabla anterior).

Paso número 3: Sume las medias ($\bar{X}$) de todos los subgrupos y divida por el número de subgrupos (n_s). Esto da como resultado la media general ($\bar{\bar{X}}$).

Paso número 4: Sume los rangos de todos los subgrupos y divida por el número de subgrupos (n_s). Esto da como resultado el rango medio ($\bar{R}$).

Ejemplo 9-D (continuación):

Determine la media general ($\bar{\bar{x}}$) y el rango medio ($\bar{R}$):

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{x}}{n_s} \qquad \bar{R} = \frac{\sum R}{n_s}$$

$\bar{\bar{X}}$= 37,20 / 6 $\qquad$ $\bar{R}$ = 30,0 / 6

$\bar{\bar{X}}$ = 6,2 $\qquad$ $\bar{R}$ = 5,0

Calcule el límite superior del gráfico de control (UCL) para el gráfico $\bar{x}$:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R})$$

Sabemos que:

$\bar{\bar{X}}$ = 6,2
$\bar{R}$ = 5,0
A_2 (para n = 5 muestras/subgrupo) = 0,58

$UCL_{\bar{x}}$ = 6,2 + (0,58 × 5,0)
$UCL_{\bar{x}}$ = 9,1

Ejemplo 9-D (continuación):

Calcule el límite de control inferior (LCL) para el gráfico $\bar{X}$:

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$$

Sabemos que:

$\bar{\bar{X}} = 6{,}2$
$\bar{R} = 5{,}0$
A_2 (para n = 5 muestras/subgrupo) = 0,58

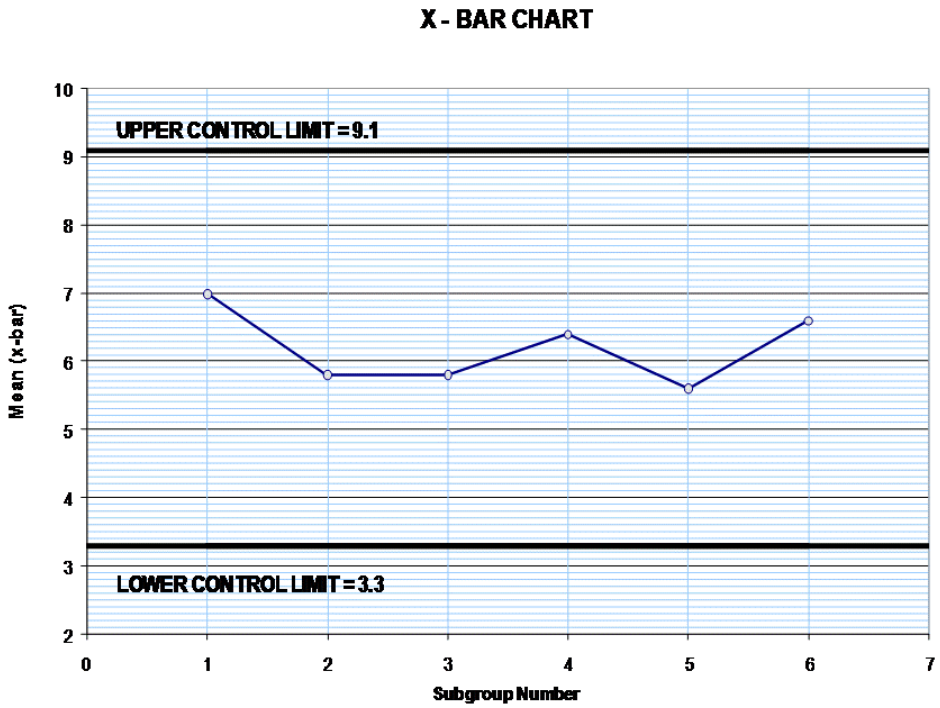
– LCL_x LCL_x

–

= 6,2 - (0,58 × 5,0)

= 3,3

Trace los límites superior e inferior del gráfico de control para el gráfico X-Bar:



Ejemplo 9-D (continuación):

Calcule el límite de control inferior (LCL) para el gráfico $\bar{X}$:

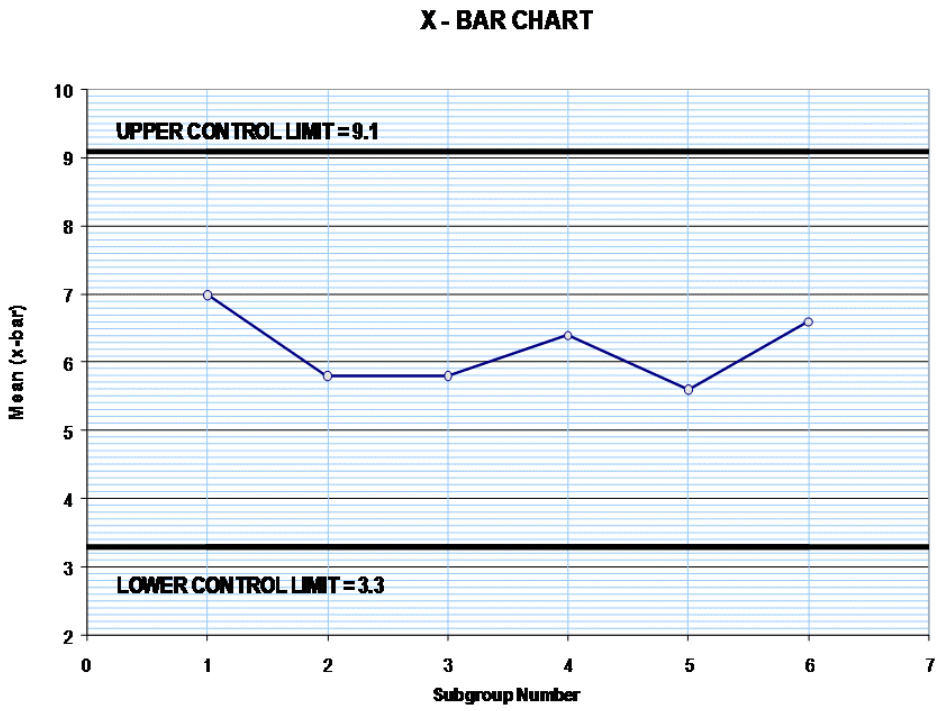
$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$$

Sabemos que:

$\bar{\bar{X}} = 6,2$
$\bar{R} = 5,0$
A_2 (para n = 5 muestras/subgrupo) = 0,58

$LCL_{\bar{x}} = 6,2 - (0,58 \times 5,0)$
$LCL_{\bar{x}} = 3,3$

Trace los límites superior e inferior del gráfico de control para el gráfico X-Bar:



Ejemplo 9-D (continuación):

Calcule el límite de control superior (UCL) para el gráfico R:

$$UCL_R = D_4 \times \overline{R}$$

Sabemos que:

$\overline{R} = 5{,}0$
D_4 (para n = 5 muestras/subgrupo) = 2,11

$UCL_R = 5 \times 2{,}11$
$UCL_R = 10{,}55 = 10{,}6$

Calcule el límite de control inferior (LCL) para el gráfico R:

$$LCL_R = D_3 \times \overline{R}$$

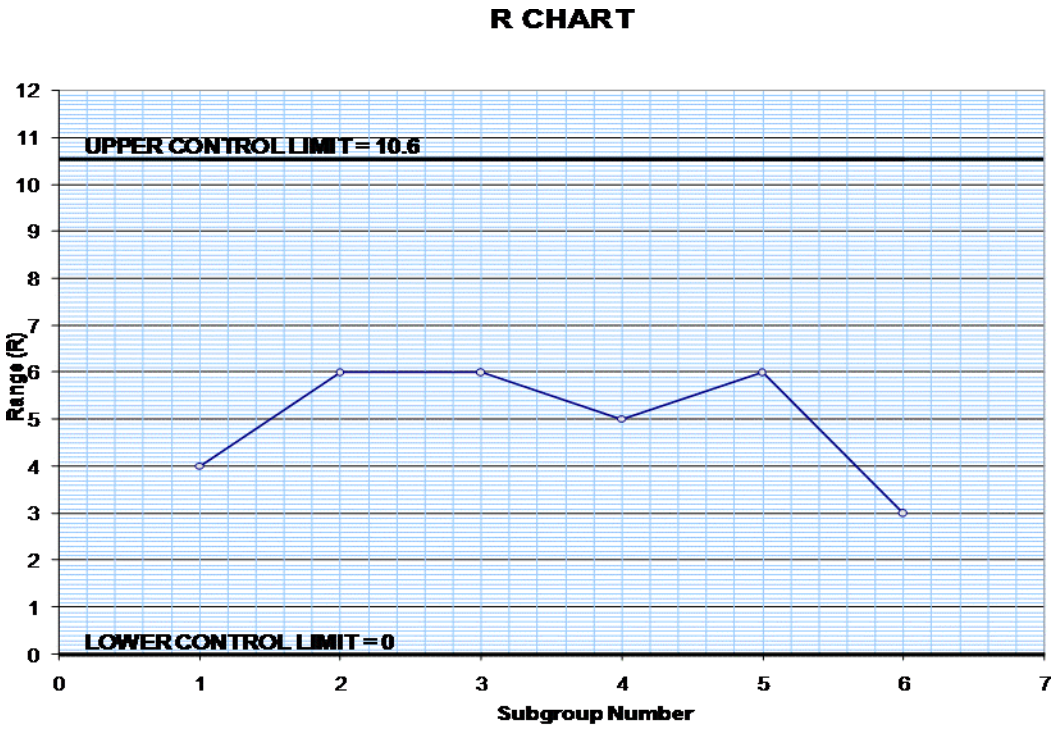
Sabemos que:

$\overline{R} = 5{,}0$
D_3 (para n = 5 muestras/subgrupo) = 0,00

$LCL_R = 5{,}0 \times 0{,}00$
$LCL_R = 0{,}00$

Ejemplo 9-D (continuación):

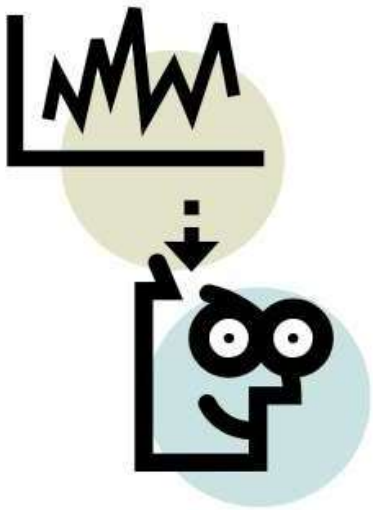
Trace los límites superior e inferior del gráfico de control para el gráfico R:



9.5 - Evaluación de gráficos de control

Solución de problemas por falta de control

Los gráficos de control estadístico se pueden utilizar para determinar dónde existe una falta de control en un proceso de producción o colocación. La falta de control del proceso se puede identificar con el gráfico X-Bar y el gráfico R cuando se observan las siguientes tendencias generales:



- Cambio en el gráfico X-Bar con el gráfico R permaneciendo constante.
- Cambio en el gráfico R, con el gráfico X-bar constante.
- Cambio tanto en el gráfico X-Bar como en el gráfico R.

Si un valor del gráfico de control (punto de control) se vuelve muy errático (los puntos que han mostrado un buen control saltan repentinamente fuera del límite del gráfico de control y luego vuelven a saltar dentro del límite del gráfico de control), es posible que haya errores de muestreo y/o de prueba. Si el gráfico de control de las medias (gráfico X-bar) cambia, es una señal de que se está produciendo un cambio sutil en el proceso. Si el gráfico de control de las medias del rango de la muestra (gráfico R) comienza a cambiar, es una señal de que se está produciendo un cambio más drástico, tal vez debido al desgaste del equipo o a cambios en el mismo.

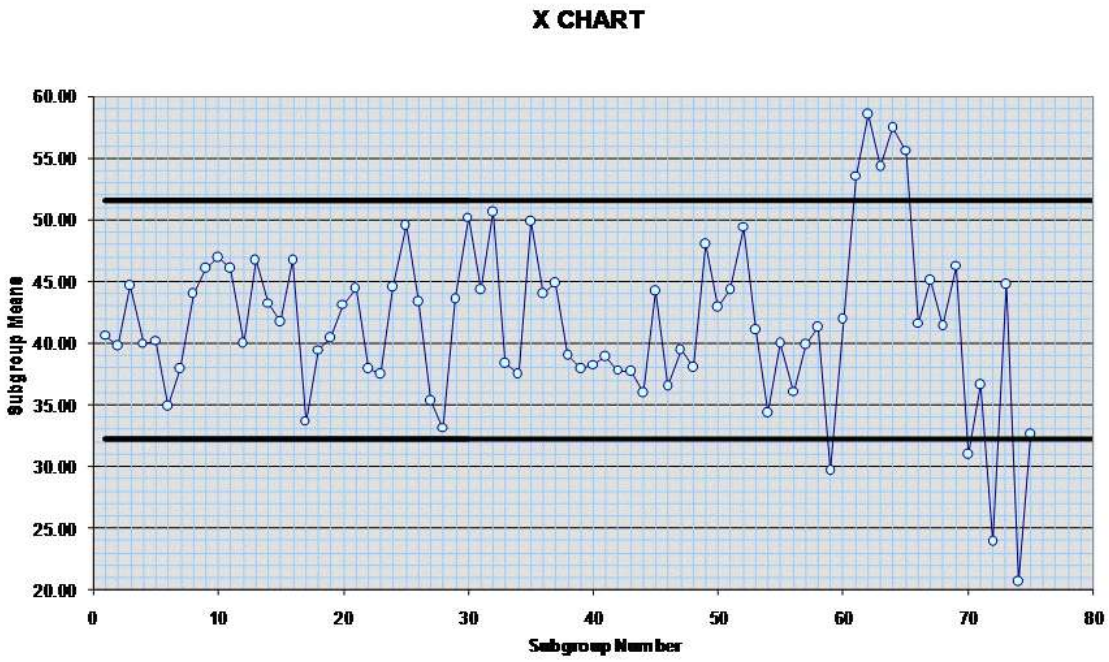
Teoría de las series extremas: prueba de falta de control

Los límites del gráfico de control se establecen lo suficientemente separados (utilizando 2 o 3 desviaciones estándar de la media) para que muy pocos puntos queden fuera de ellos, a menos que se haya producido un cambio real en el proceso, es decir, a menos que haya una causa asignable que esté actuando sobre el sistema. Por esta razón, a menudo resulta útil, aunque no tan fiable, complementar los criterios de puntos fuera de control mencionados anteriormente con pruebas basadas en la ***teoría de las series extremas***.

Puntos sucesivos en el mismo lado del objetivo

Aunque existen varias teorías diferentes sobre las series extremas, se recomienda utilizar una sola regla sencilla de la teoría de las series extremas para juzgar si el proceso está fuera de control. Si utilizamos muchas reglas, hay una mayor probabilidad de obtener una indicación falsa. Para que resulte sencillo y práctico para la parte contratista, la regla puede formularse de la siguiente manera:

> «Se debe suponer que existen motivos para sospechar que el parámetro poblacional ha cambiado siempre que, en siete puntos sucesivos del gráfico de control, todos los puntos se encuentren en el mismo lado de la línea central».



Punto único fuera de los límites del gráfico de control

Esta secuencia de series extremas se producirá por casualidad (sin que se haya producido realmente ningún cambio en la población) con más frecuencia que la aparición de un único punto fuera de los límites del gráfico de control. Por esta razón, la teoría de las series extremas proporciona una base menos fiable para identificar la falta de control que un punto fuera de los límites del gráfico de control. En otras palabras, un punto que se encuentra fuera de los límites del gráfico de control es una indicación mucho más clara de que el proceso está fuera de control.

En cualquier uso de los gráficos de control, es fundamental conocer a fondo el proceso que se controla para poder utilizar los gráficos de forma eficaz. Tal y como se afirma en *Statistical Quality Control of Highway Construction – Volume 2* (Universidad Estatal de Pennsylvania), «el gráfico de control indica cuándo hay que buscar problemas, pero por sí solo no puede indicar dónde hay que buscar ni qué causa se encontrará».

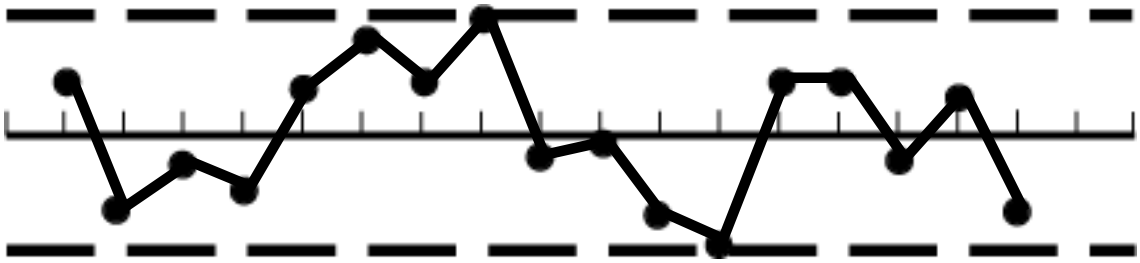
Patrones observados en los gráficos de control

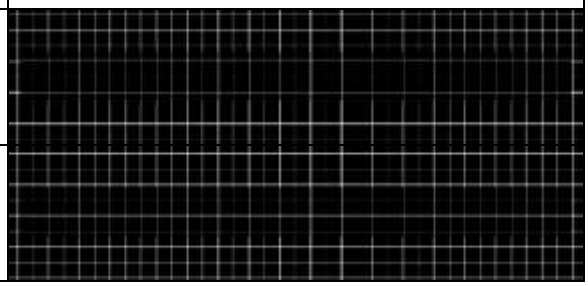
Hay otros patrones que pueden aparecer en los gráficos de control y que pueden indicar una falta de control del proceso. En el documento de la Universidad Estatal de Pensilvania mencionado anteriormente, se informa sobre la investigación realizada sobre algunos de los patrones que se observan con frecuencia en los gráficos de control. Estos patrones se presentan a continuación junto con algunas de las posibles causas asignables que pueden estar creando el patrón en un gráfico X-Bar o R. Como señala la Universidad Estatal de Pensilvania:

> «Las figuras que se muestran a continuación fueron desarrolladas por Bell Telephone Laboratories como ayuda para la formación de jóvenes inspectores e ingenieros. Las causas enumeradas deben utilizarse únicamente como guía para posibles medidas, y no como una lista definitiva de las causas de los problemas».

Patrón # 1: Ciclos recurrentes

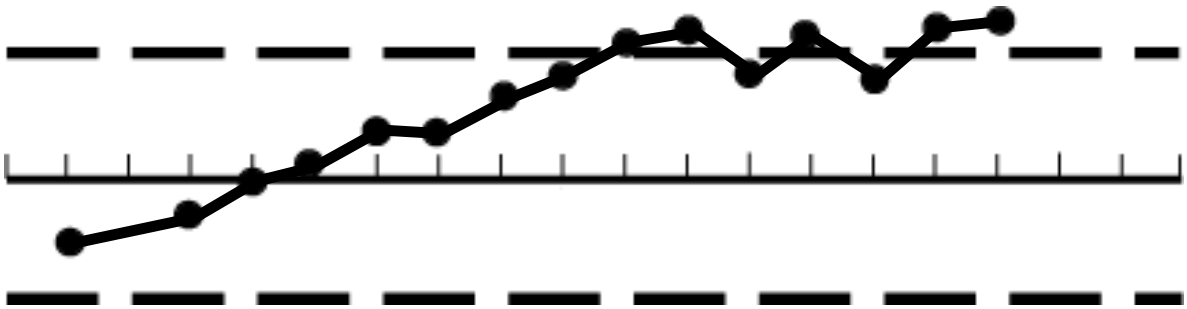
Los ciclos recurrentes se forman a partir de patrones de datos repetibles y discernibles. A continuación, se presenta un ejemplo de este tipo de patrón.



Algunas causas que afectan al gráfico $\bar{X}$	Algunas causas que afectan al gráfico R
1. Temperatura u otros cambios recurrentes en el entorno físico	1. Mantenimiento preventivo programado
2. Fatiga de los trabajadores	2. Fatiga de los trabajadores
3. Diferencias en los dispositivos de medición utilizados para realizar las pruebas.	3. Herramientas desgastadas
4. Rotación periódica de equipos u operadores	
5. Fusión de subconjuntos con otros procesos	

Patrón # 2: Tendencias de patrones

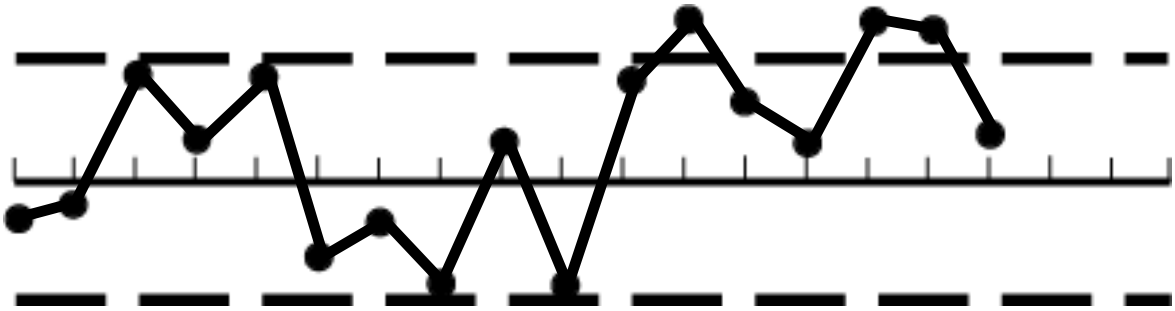
Se observa un patrón gradual ascendente o descendente discernible. A continuación, se muestra un ejemplo de dicho patrón.



Algunas causas que afectan al gráfico $\bar{X}$	Algunas causas que afectan al gráfico R
1. Deterioro gradual del equipo que puede afectar a todos los elementos	1. Mejora o deterioro de la habilidad del operador
2. Fatiga de los trabajadores	2. Fatiga de los trabajadores
3. Acumulación de productos de desecho	3. Cambio en las proporciones de los subprocesos que alimentan una línea de montaje
4. Deterioro de las condiciones medioambientales	4. Cambio gradual en la homogeneidad de la calidad del material entrante

Patrón # 3: Saltos en el nivel del proceso

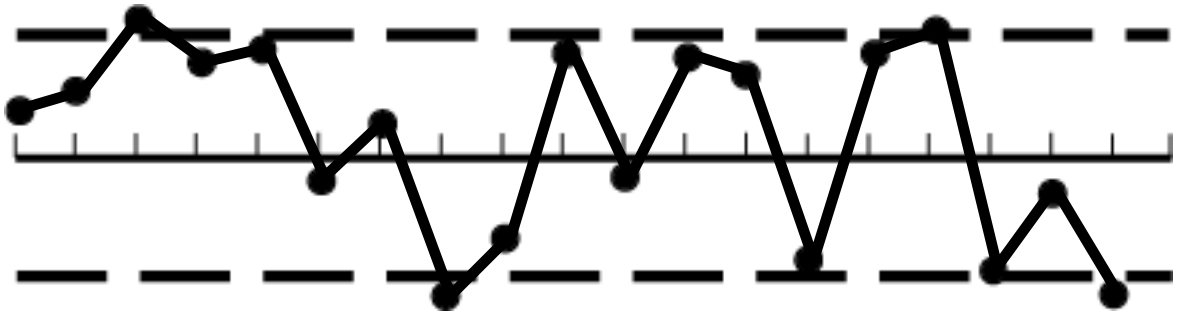
Aparece un movimiento errático en los datos. A continuación, se presenta un ejemplo de este patrón.

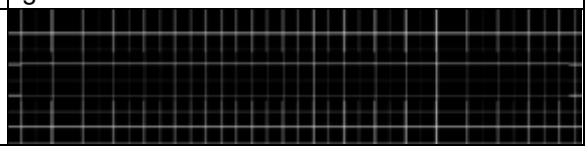


Algunas causas que afectan al gráfico $\bar{X}$	Algunas causas que afectan al gráfico R
1. Cambio en las proporciones de material o subconjuntos procedentes de diferentes fuentes	1. Cambio en el material
2. Nuevo trabajador o máquina	2. Nuevo método
3. Modificación del método o proceso de producción	3. Cambio en el trabajador
4. Cambio en el dispositivo o método de inspección	

Patrón # 4: Alta proporción de puntos cercanos o fuera de los límites

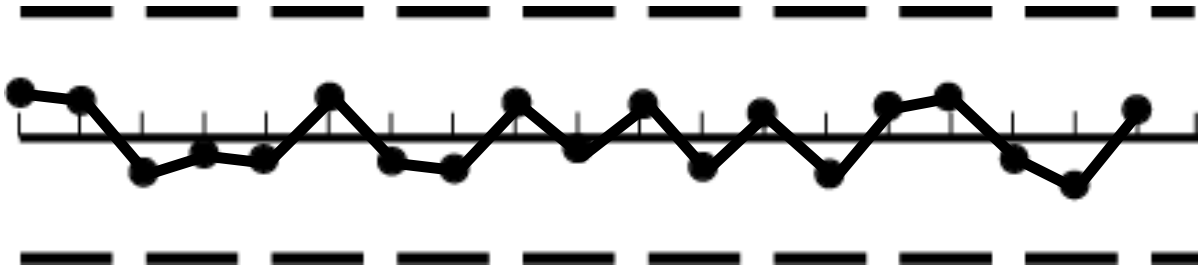
Un gran número de puntos de datos se encuentran cerca o fuera de los límites del gráfico de control. A continuación, se presenta un ejemplo de este patrón.



Algunas causas que afectan al gráfico $\bar{X}$	**Algunas causas que afectan al gráfico R**
1. Control excesivo	1. Mezcla de materiales de calidad claramente diferente
2. Grandes diferencias sistemáticas en la calidad del material	2. Diferentes trabajadores que utilizan un único gráfico R
3. Gran diferencia sistemática en el método de prueba o el equipo	3. Datos de procesos en condiciones diferentes representados en el mismo gráfico
4. Control de dos o más procesos en el mismo gráfico	

Patrón # 5: Estratificación o falta de variabilidad

Los datos del gráfico de control muestran una pequeña banda de variabilidad cercana al objetivo. Si los límites del gráfico de control se calculan de acuerdo con las secciones descritas anteriormente, este gráfico puede indicar un buen control sobre el proceso. A continuación, se presenta un ejemplo de este patrón.



Algunas causas que afectan al gráfico $\bar{X}$	Algunas causas que afectan al gráfico R
1. Cálculo incorrecto de los límites de control	1. Recopilación en cada muestra de una serie de mediciones procedentes de universos muy diferentes

9.6 - Aplicación de QLA para el control de calidad

El QLA como herramienta para el control de calidad

Aunque el análisis del nivel de calidad (QLA) se utiliza normalmente con una medida de calidad concreta (por ejemplo, PWL) para la aceptación del producto por parte de la agencia, también debe ser utilizado por el contratista con fines de control de calidad. De hecho, algunas especificaciones de control de calidad de las agencias exigen que el contratista tome medidas correctivas o suspenda la producción o la colocación de materiales si el nivel de calidad cae por debajo de un umbral determinado (por ejemplo, 85 PWL).

Incluso cuando las especificaciones de control de calidad no lo exigen específicamente, un buen control de calidad sugiere que los contratistas utilicen los resultados de sus pruebas de control de calidad para evaluar periódicamente el nivel de calidad de los materiales a lo largo de las operaciones de producción y colocación. Una forma de evaluación consiste en trazar los resultados del QLA con una frecuencia regular para supervisar continuamente los niveles de calidad generados a medida que avanza el proyecto.

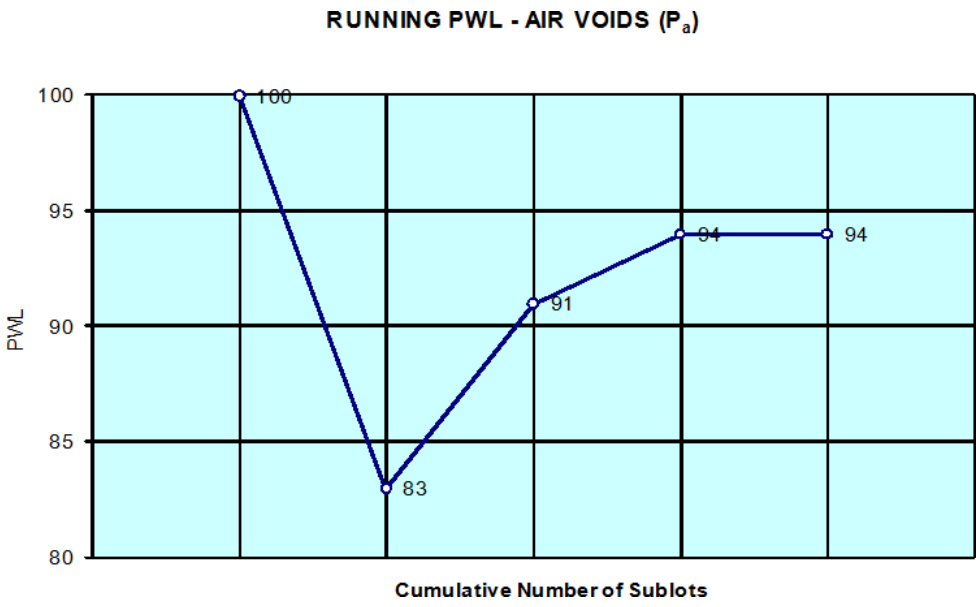
Ningún análisis de QLA realizado por el contratista con fines de control de calidad debe ser utilizado por el contratista o la agencia como base para las decisiones de aceptación. Estos gráficos de QLA solo deben ser utilizados por la parte contratista (es decir, el contratista principal, el subcontratista, el productor, el fabricante) para controlar la calidad del producto que se está produciendo o colocando. Estos gráficos de QLA deben utilizarse junto con los otros gráficos de control mencionados anteriormente para tomar decisiones más informadas sobre cada operación de producción o colocación.

Ejemplos de QLA utilizados para el control de calidad

Ejemplo 9-E: Utilizando los huecos de aire HMA del ejemplo 9-B y los datos correspondientes del contenido de aglutinante, el contratista calculó el PWL para las dos características de calidad (huecos de aire y contenido de aglutinante) después de cada cinco sub-lotes. Los límites especificados para los huecos de aire eran del 3-5 %, y los límites especificados para el contenido de aglutinante eran del 4,7 al 5,3. Los datos se representaron de forma acumulativa en un gráfico después de analizar cada 5 sub-lotes.

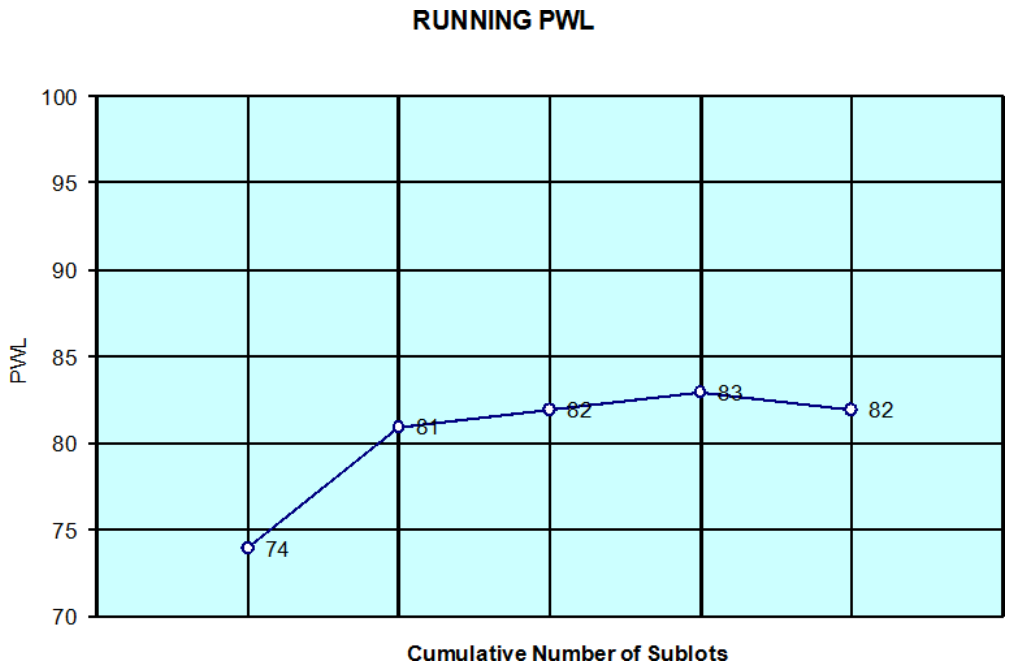
Muestra	Huecos de aire (P_a)	Contenido de aglutinante (P_b)
Sub-lote 1	3,6	5,2
Sub-lote 2	4,5	4,8
Sub-lote 3	4,4	5,3
Sub-lote 4	3,9	5,3
Sub-lote 5	4,6	5,2
Sub-lote 6	4,8	5,1
Sub-lote 7	4,6	4,9
Sub-lote 8	5,2	4,7
Sub-lote 9	4,8	5,3
Sub-lote 10	5,0	4,9
Sub-lote 11	3,8	5,1
Sub-lote 12	4,2	5,2
Sub-lote 13	4,2	5,1
Sub-lote 14	4,3	4,8
Sub-lote 15	4,0	4,7
Sub-lote 16	4,3	5,1
Sub-lote 17	4,0	4,7
Sub-lote 18	3,6	4,7
Sub-lote 19	3,6	5,0
Sub-lote 20	3,5	5,2
Sub-lote 21	4,3	5,3
Sub-lote 22	4,2	4,7
Sub-lote 23	4,6	5,0
Sub-lote 24	3,0	4,9
Sub-lote 25	3,7	4,7

Ejemplo 9-E (continuación):



Resumen del análisis del nivel de calidad de los huecos de aire en el HMA							
Número de sub-lotes acumulativos	$\bar{X}$	**s**	Q_U	Q_L	P_U	P_L	**PWL**
1 a 5	4,20	0,430	1,86	2,79	100	100	100
1 a 10	4,54	0,484	0,95	3,18	83	100	83
1 a 15	4,39	0,456	1,34	3,05	91	100	91
1 a 20	4,24	0,497	1,53	2,49	94	100	94
1 a 25	4,19	0,524	1,55	2,27	94	100	94

Ejemplo 9-E (continuación):

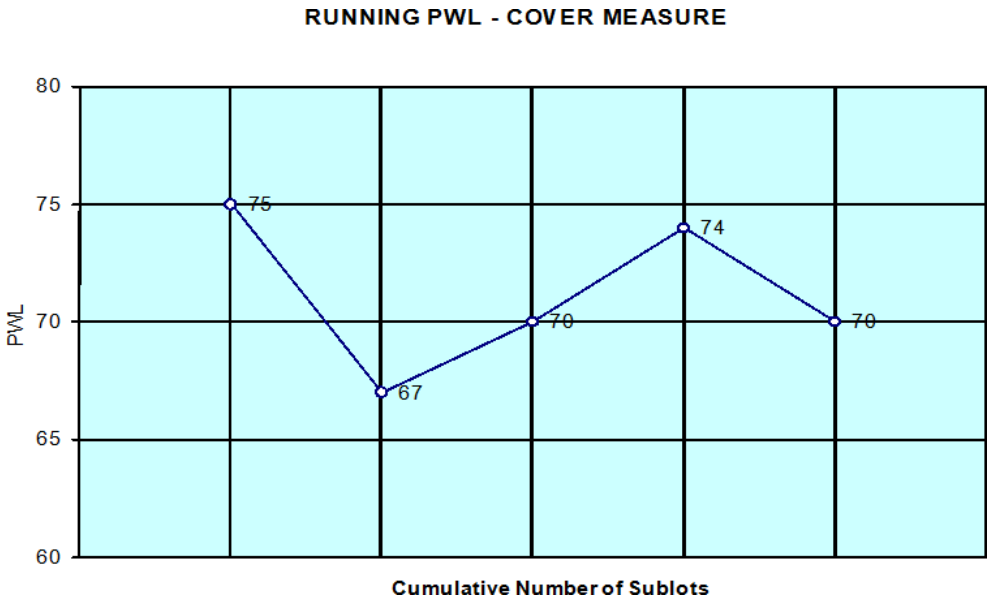


Resumen del análisis del nivel de calidad del contenido del aglutinante HMA							
Número de sub-lotes acumulativos	$\bar{X}$	**s**	Q_U	Q_L	P_U	P_L	**PWL**
1 a 5	5,2	0,21	0,68	2,22	74	100	74
1 a 10	5,1	0,23	1,02	1,63	85	96	81
1 a 15	5,0	0,22	1,18	1,55	88	94	82
1 a 20	5,0	0,22	1,29	1,43	90	93	83
1 a 25	5,0	0,22	1,35	1,32	91	91	82

Ejemplo 9-F: Utilizando los datos de recubrimiento del PCC del ejemplo 9-C, el contratista calculó el PWL después de cada cinco sub-lotes. Los límites especificados (LSL y USL) para el recubrimiento eran 2 pulgadas (50 mm) y 3 pulgadas (75 mm). Los datos se representaron de forma acumulativa en un gráfico después de analizar cada 5 sub-lotes.

Muestra	Cubierta de PCC, pulgadas (mm)
Sub-lote 1	2,16 (55)
Sub-lote 2	2,05 (52)
Sub-lote 3	1,89 (48)
Sub-lote 4	2,20 (56)
Sub-lote 5	2,44 (62)
Sub-lote 6	2,05 (52)
Sub-lote 7	2,28 (58)
Sub-lote 8	1,85 (47)
Sub-lote 9	1,81 (46)
Sub-lote 10	2,16 (55)
Sub-lote 11	2,01 (51)
Sub-lote 12	1,97 (50)
Sub-lote 13	2,20 (56)
Sub-lote 14	2,32 (59)
Sub-lote 15	2,01 (51)
Sub-lote 16	2,48 (63)
Sub-lote 17	2,28 (58)
Sub-lote 18	2,13 (54)
Sub-lote 19	2,28 (58)
Sub-lote 20	1,89 (48)
Sub-lote 21	1,93 (49)
Sub-lote 22	2,05 (52)
Sub-lote 23	2,01 (51)
Sub-lote 24	1,97 (50)
Sub-lote 25	1,93 (49)

Ejemplo 9-E (continuación):



Resumen del análisis del nivel de calidad para la cubierta de PCC							
Número de sub-lotes acumulativos	$\bar{X}$	**s**	Q_U	Q_L	P_U	P_L	**PWL**
1 a 5	2,15	0,2027	4,20	0,73	100	75	75
1 a 10	2,09	0,1999	4,56	0,45	100	67	67
1 a 15	2,09	0,1796	5,05	0,52	100	70	70
1 a 20	2,12	0,1914	4,58	0,64	100	74	74
1 a 25	2,09	0,1815	4,99	0,52	100	70	70

-FIN DEL CAPÍTULO 9-

CAPÍTULO 10

Solicitudes de aceptación y pago

Capítulo 10

Solicitudes de aceptación y pago

Resumen del capítulo

En este capítulo se tratarán específicamente las siguientes aplicaciones matemáticas para la aceptación por parte de la agencia:

10.1 - Objetivos y límites de calidad utilizados para la aceptación de la prueba ( ).

10.2 - Correlación de los datos de las pruebas de aceptación

10.3 - Validación de los datos de control de calidad utilizados en la determinación de la aceptación de los objetivos

10.4 - Uso de PWL para calcular los factores de pago

10.5 - Uso de factores salariales compuestos

10.6 - Determinación de los ajustes salariales

10.1 - Objetivos y límites de calidad utilizados para la aceptación

Valor objetivo

Las especificaciones de garantía de calidad suelen incluir un ***valor objetivo*** para cada característica de calidad identificada para la medición o prueba de aceptación. El valor objetivo representa el valor medio o promedio deseado para todas las muestras de material que representan un lote. El valor objetivo se define de la siguiente manera:

> **Valor objetivo**: «El valor que se asigna a una característica de calidad que representa la media de la distribución esperada de la población especificada».

Como se explicará más adelante, los valores objetivo se utilizan junto con los límites de calidad para evaluar la aceptabilidad de los materiales de construcción. El valor objetivo define el valor ideal para la característica de calidad que se mide y debe orientarse al punto medio entre los límites de calidad.

Es deseable que los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia se acerquen al valor objetivo. Cuando la mayoría de los resultados de las pruebas se agrupan en torno a la media esperada, el análisis del nivel de calidad indicará un mayor porcentaje dentro de los límites (PWL), lo que a su vez representa un mayor nivel de calidad del producto. Recuerde que las poblaciones con distribuciones normales tendrán la mayoría de los datos agrupados en torno a la media.

Las especificaciones de control de calidad de la agencia asignarán valores objetivo-basados en los estándares/códigos de la industria o los requisitos de ingeniería, junto con los parámetros de población conocidos basados en la evaluación de los datos del proyecto piloto. Los valores objetivo para las características de calidad individuales se asignan generalmente como el valor medio. En algunos casos, el valor objetivo se selecciona de un rango especificado y se establece con la fórmula de mezcla de trabajo (JMF) aprobada, como en el caso de una mezcla HMA.

Límites de calidad

Como se explica en el capítulo 4, hay tres tipos generales de límites de calidad que suelen incluirse en las especificaciones de garantía de calidad. Son los siguientes:

- Límites de especificación
- Límites de ingeniería
- Límites de aceptación

Aunque cada tipo de límite de calidad tiene una función específica diferente, se utilizan conjuntamente para evaluar la calidad de un lote. En la tabla siguiente se muestra un ejemplo de cómo pueden aparecer los límites de calidad en una especificación de control de calidad. A continuación, se describe con más detalle cada uno de estos límites de calidad.

Ejemplo: límites de calidad para el contenido de ligante asfáltico PG y los huecos de aire en el HMA

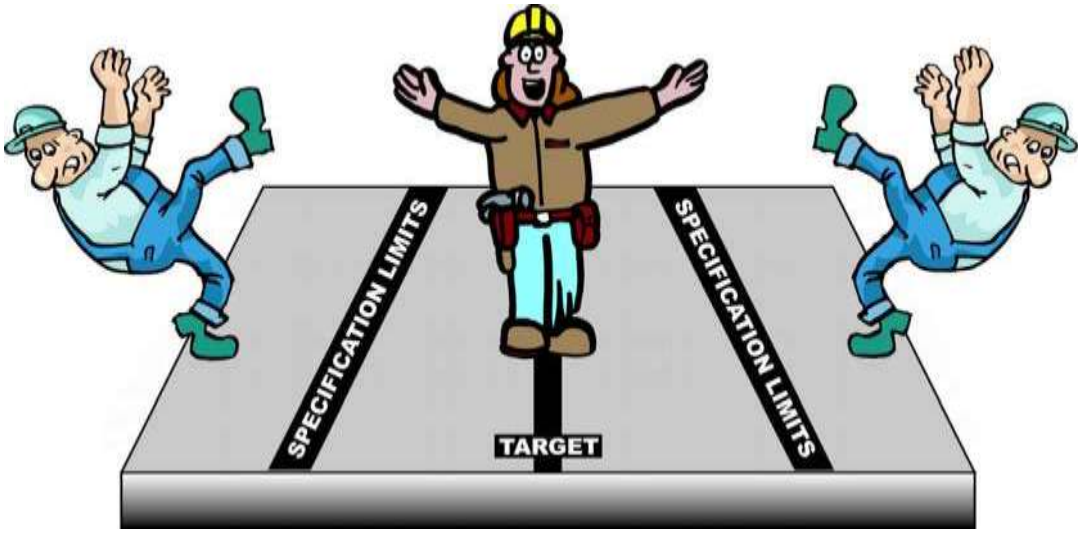
Característica de calidad	Objetivo	Límites de especificación		Límites de ingeniería		Límite de aceptación
		LSL	USL	LEL	UEL	
PG Contenido de ligante asfáltico	Por JMF	Objetivo - 0,4 %	Objetivo + 0,4 %	Objetivo - 0,6 %	Objetivo + 0,6 %	60 PWL
Huecos de aire (compactado en laboratorio)	4	3	5	2	6	60 PWL

Límites de especificación

El primer tipo de límites de calidad que se encuentran en las especificaciones de control de calidad son los límites estadísticos «flexibles» que se utilizan para evaluar todos los resultados de las pruebas de un lote y se denominan ***límites de especificación***.
Los límites de especificación se definen de la siguiente manera:

> **Límites de especificación**: «Los valores límite basados en estadísticas que se establecen para una característica de calidad y que se aplican con una medida de calidad concreta (como PWL) para evaluar la calidad de un lote».

Los límites de especificación suelen estar compuestos por un límite de especificación superior (USL), un límite de especificación inferior (LSL) o ambos. Es importante tener en cuenta que, dado que los límites de especificación son límites estadísticos, los resultados de las pruebas de muestras individuales pueden superar el USL o el LSL y seguir estando incluidos en la determinación de aceptación. Los límites de especificación se utilizarán en última instancia para el cálculo de los niveles de calidad (por ejemplo, PWL), que se utilizarán para calcular los factores de pago de un lote.



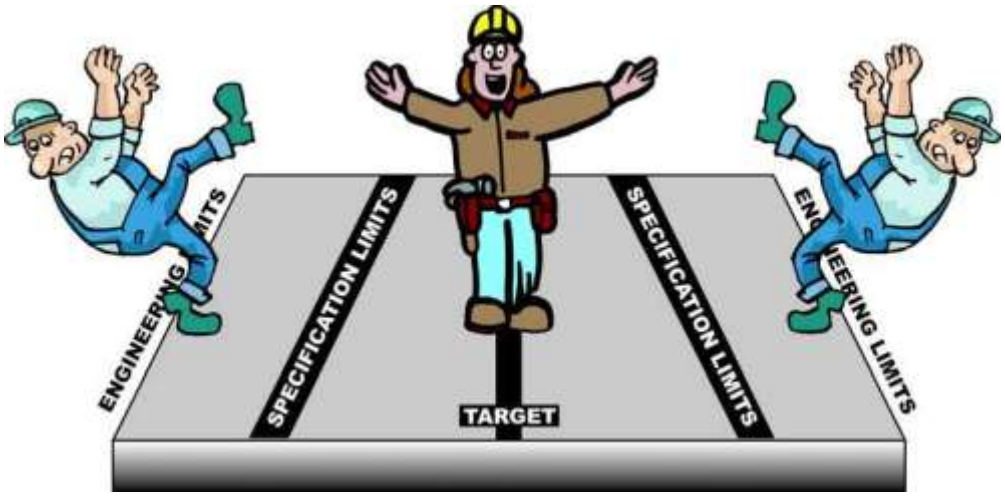
Los límites de especificación se establecen normalmente para características de calidad individuales basándose en una combinación de la media deseada y la desviación estándar deseada para una población de material. Los datos del proyecto piloto deben utilizarse para optimizar los límites de especificación y garantizar que reflejen la variabilidad inherente a una característica de calidad específica.

Límites de ingeniería

El segundo tipo de límites de calidad que se encuentran en las especificaciones de control de calidad son los límites absolutos «rígidos» que se utilizan para evaluar los resultados de las pruebas individuales de un lote y que se denominan ***límites de ingeniería***. Los límites de ingeniería proporcionan un valor umbral absoluto para muestras de material individuales y se definen de la siguiente manera:

> **Límites de ingeniería**: «Los valores límite absolutos establecidos para una característica de calidad, más allá de los cuales el resultado de la prueba de una muestra individual se considera inaceptable».

Los límites de ingeniería se establecen para identificar los materiales que no proporcionan las propiedades de ingeniería mínimas requeridas. Suelen tener un límite de ingeniería superior (UEL), un límite de ingeniería inferior (LEL) o ambos. Los límites de ingeniería pueden ser los mismos que los límites de especificación. Los resultados de las pruebas de muestras individuales que superan los límites de ingeniería se consideran representativos de materiales que parecen estar por debajo de un nivel aceptable y que deben evaluarse más a fondo para apoyar una disposición adecuada.



Límites de aceptación

El tercer tipo de límites de calidad que se encuentran en las especificaciones de control de calidad se denomina ***«límites de aceptación»***. A diferencia de los límites de especificación o los límites de ingeniería que se establecen para una característica de calidad, un límite de aceptación es el límite que se establece para una medida de calidad. El glosario del TRB (E-C074) define un límite de aceptación de la siguiente manera:

> **Límite de aceptación**: «En los planes de aceptación variables, el valor límite superior o inferior establecido para una medida de calidad que permite la aceptación de un lote».

Mientras que los valores de prueba de las muestras de material se evalúan con los límites de especificación y los límites de ingeniería, el nivel de calidad calculado para una medida de calidad específica se evalúa en función del límite de aceptación. Una medida de calidad típica utilizada en el «plan de aceptación» de una especificación de control de calidad es el porcentaje dentro de los límites. Por ejemplo, el PWL mínimo permitido indicado en una especificación de control de calidad podría ser 65 PWL. Este es el límite de aceptación. Si el PWL final calculado para un lote es inferior a 65 PWL, se encuentra por debajo del límite de aceptación y, por lo tanto, se aplicaría una penalización. (El material solo se rechazaría si se encontrara por debajo del nivel de calidad rechazable, o RQL).

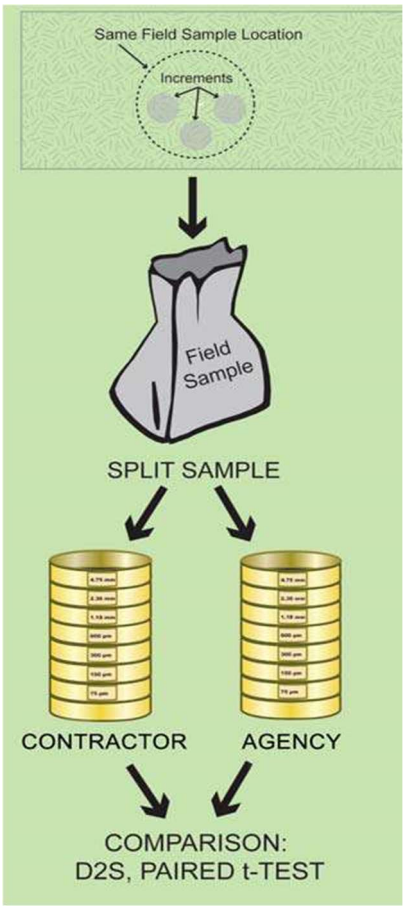
10.2 - Correlación de los datos de las pruebas

Definición de correlación de muestras divididas

Cuando la agencia decide incluir los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista en la determinación de la aceptación, una práctica recomendada es comparar los resultados del contratista y de la agencia entre sí en un proceso de dos pasos. El primer paso se conoce como ***correlación***, que se define de la siguiente manera:

> **Correlación de muestras divididas**: «La comparación de muestras divididas analizadas por diferentes partes (por ejemplo, agencia frente a contratista) con un grado admisible de diferencia en los resultados de las pruebas atribuible a la variabilidad del muestreo y los análisis».

SPLITSAMPLE CORRELATION



Función de la correlación de muestras divididas

Hay dos aplicaciones principales de la correlación. En primer lugar, antes o en las primeras etapas de la producción (o siempre que sea necesario durante la producción), se debe realizar la correlación del control de calidad y el muestreo y las pruebas de aceptación en muestras divididas para garantizar que los resultados generados por el contratista y la agencia sean comparables.

En segundo lugar, si la determinación de aceptación de la agencia utiliza la opción de incluir todos los resultados de pruebas de control de calidad validados más las divisiones de los resultados de aceptación de la agencia (enfoque n.º 2, opción B, descrito en los capítulos 2 y 6), entonces las muestras divididas analizadas por el contratista se correlacionan con las muestras de la agencia.

Enfoques de correlación de muestras divididas

Normalmente, se requerirá una prueba de correlación inicial antes del inicio de la producción o la colocación del material. La especificación puede requerir adicionalmente pruebas de correlación posteriores con una frecuencia determinada durante la producción o la colocación. Además, como se ha mencionado anteriormente, la correlación debe realizarse en muestras divididas que se utilizan en la determinación de aceptación de la agencia. La comparación de correlación solo es válida para el procedimiento(s) y el equipo que se utilicen. La correlación no identifica discrepancias en la población general (lote). Su único objetivo es identificar las diferencias en los valores de las pruebas entre el contratista y la agencia atribuibles al muestreo y las pruebas. El procedimiento de correlación seguirá normalmente uno de los dos enfoques siguientes:

- Utilizar las declaraciones de precisión AASHTO D2S.
- Utilizar la prueba t pareada.
- Utilizar los límites de comparación desarrollados por el estado.

Las especificaciones de control de calidad de la agencia deben identificar el procedimiento de correlación que se utilizará. A continuación se describen los dos enfoques de correlación mencionados anteriormente.

Correlación de muestras divididas utilizando las declaraciones de precisión AASHTO D2S

D2S representa dos límites de desviación estándar para la diferencia entre dos variables aleatorias extraídas de la misma distribución normal. Los límites D2S se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$D2S = 2 \times \sqrt{2} \times (1S)$$

Si los resultados de las pruebas de muestras divididas del contratista y la agencia difieren en más de D2S, solo hay un 5 % de probabilidades de que provengan de la misma población.

Algunos procedimientos de ensayo de la AASHTO contienen declaraciones de precisión D2S que pueden utilizarse para correlacionar los resultados de los ensayos del contratista y la agencia a partir de una sola muestra dividida. El procedimiento de correlación consiste en comparar los resultados de los ensayos de las muestras divididas del contratista y la agencia directamente con el límite D2S de la AASHTO. Siempre que los dos resultados de las pruebas no difieran en más del valor D2S, se considera que están correlacionados. En la tabla siguiente se enumeran ejemplos de valores de precisión D2S para algunos procedimientos de prueba de la AASHTO.

Ejemplos de valores de precisión D2S de la AASHTO		
Método de ensayo AASHTO	**Título**	**Límite D2S***
T 27	Análisis granulométrico de áridos finos y gruesos (Áridos gruesos: % total de material que pasa < 100, ≥ 95)	1,0
T 164	Extracción cuantitativa de betún de mezclas para pavimentación	0,81
T 304	Contenido de huecos no compactados del agregado fino	0,93

*NOTA: Consulte el método de ensayo específico de la AASHTO para conocer los requisitos específicos de los valores D2S.

Correlación de muestras divididas utilizando la prueba t pareada

La comparación D2S es sencilla y se puede realizar para cada muestra dividida que se obtenga. Sin embargo, este procedimiento solo compara dos resultados de prueba (de una muestra dividida) y no es muy eficaz debido a la cantidad limitada de datos que se evalúan. Por otro lado, la ***prueba t pareada*** compara varios conjuntos de muestras divididas y es un método de comparación más adecuado, ya que utiliza la diferencia entre varios pares de pruebas y determina si la diferencia media es estadísticamente diferente de cero (0). Es decir, se trata de determinar si la diferencia media entre los pares es mayor de lo que es probable (razonablemente esperable) a partir de divisiones de la misma muestra de material. Lo que se comprueba es la diferencia dentro de los pares, no entre ellos. Por este motivo, la prueba t pareada debe utilizarse para muestras divididas múltiples o acumulativas.

Se recomienda utilizar una mayor cantidad de pruebas de correlación de agencias en las primeras fases del proyecto. Disponer de más datos para realizar la correlación da mayor credibilidad a la comparación entre los resultados de la agencia y los del contratista. Se sugiere un mínimo de ocho (8) resultados de pruebas pareadas.

La prueba t para mediciones emparejadas, o prueba t emparejada, utiliza la diferencia entre cada par de pruebas de muestras divididas y determina si la diferencia es muy diferente de cero (0). La prueba t para mediciones emparejadas calcula un ***valor t emparejado*** (t_{par}) a partir de las diferencias en los resultados de las pruebas de muestras divididas. El valor t_{par} se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$t_{pair} = \frac{\left|\overline{X}_d\right|}{\left(\frac{S_d}{\sqrt{n}}\right)}$$

Donde: X_d = Diferencia individual entre los resultados de las pruebas de muestras divididas

n = Número de muestras divididas

$\overline{X_d}$ = Media de las diferencias entre los resultados de las pruebas de muestras divididas, calculada de la siguiente manera:

$$\overline{X}_d = \frac{(X_{d1} + X_{d2} + \ldots X_n)}{n}$$

S_d = Desviación estándar de las diferencias entre los resultados de las pruebas de muestras divididas, calculada de la siguiente manera:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_d - \overline{x}_d)^2}{n-1}}$$

El valor t_{pair} calculado se compara entonces con un ***valor t crítico*** (t_{crit}) obtenido de *FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad* (disponible en línea en http://www.tfhrc.gov/pavement/pccp/pubs/02095/02095.pdf). La tabla que se muestra a continuación proporciona varios niveles de significación.

Valores críticos de la prueba t para varios niveles de significación

Grados de libertad	α = 0,01	α = 0,05	α = 0,10	α = 0,025
1	63,657	12,706	6,314	24,452
2	9,925	4,303	2,920	6,205
3	5,841	3,182	2,353	4,177
4	4,604	2,776	2,132	3,495
5	4,032	2,571	2,015	3,163
6	3,707	2,447	1,943	2,969
7	3,499	2,365	1,895	2,841
8	3,355	2,306	1,860	2,752
9	3,250	2,262	1,833	2,685
10	3,169	2,228	1,812	2,634
11	3,106	2,201	1,796	2,593
12	3,055	2,179	1,782	2,560
13	3,012	2,160	1,771	2,533
14	2,977	2,145	1,761	2,510
15	2,947	2,131	1,753	2,490
16	2,921	2,120	1,746	2,473
17	2,898	2,110	1,740	2,458
18	2,878	2,101	1,734	2,445
19	2,861	2,093	1,729	2,433
20	2,845	2,086	1,725	2,423
21	2,831	2,080	1,721	2,414
22	2,819	2,074	1,717	2,405
23	2,807	2,069	1,714	2,398
24	2,797	2,064	1,711	2,391
25	2,787	2,060	1,708	2,385
26	2,779	2,056	1,706	2,379
27	2,771	2,052	1,703	2,373
28	2,763	2,048	1,701	2,368
29	2,756	2,045	1,699	2,364
30	2,750	2,042	1,697	2,360
40	2,704	2,021	1,684	2,329
60	2,660	2,000	1,671	2,299
120	2,617	1.980	1,658	2,270
∞	2,576	1,960	1,645	2,241

Basándose en la comparación del valor t_{par}calculado para los resultados de la prueba de muestras divididas con el valor $t_{crítico}$adecuado de la tabla anterior, se tomará una de estas dos decisiones:

- **Cuando $t_{pair} \geq t_{crítico}$**: la diferencia entre los resultados de las pruebas emparejadas de las muestras divididas es mayor de lo que cabría esperar por casualidad y, por lo tanto, las diferencias en los resultados de las pruebas del contratista y la agencia no son similares.

- **Cuando $t_{pair} < t_{crítico}$** – No hay motivos para creer que los resultados de la prueba pareada sean diferentes y, por lo tanto, se puede suponer que proceden de la misma población.

Ejemplos de pruebas t pareadas

Ejemplo 10-A: Una agencia y un contratista deben realizar una correlación utilizando la prueba t pareada en muestras divididas. La tabla siguiente presenta los resultados de la prueba de muestras divididas para los huecos de aire de HMA compactados en laboratorio. Determine si existe una diferencia entre los resultados del contratista y los de la agencia.

Ejemplo 10-A: Resultados de la prueba de huecos de aire en HMA			
N.º de muestra dividida	**Contratista**	**Agencia**	**Diferencia (X_d)***
1	3,8	4,6	-0,8
2	3,4	4,4	-1,0
3	3,1	3,7	-0,6
4	4,1	4,5	-0,4
5	3,9	4,8	-0,9
		$\bar{X}_d$ =	-0,74
		s_d =	0,2408

*NOTA: Esta diferencia no es la diferencia absoluta, sino la diferencia algebraica. Asegúrese de que la resta (es decir, contratista menos agencia) se realice en la misma dirección para cada conjunto de muestras divididas.

Ejemplo 10-A (continuación):

Paso 1: Calcular la estadística t para las mediciones emparejadas

- El valor t_{pair} para los resultados de la prueba de muestras divididas se determina de la siguiente manera:

$$t_{pair} = \frac{|\bar{X}_d|}{\left(\frac{S_d}{\sqrt{n}}\right)}$$

$$t_{pair} = \frac{|-0.74|}{\left(\frac{0.2408}{\sqrt{5}}\right)} = \frac{0.74}{\left(\frac{0.2408}{2.2361}\right)} = \frac{0.74}{0.1077} = 6.8709 = 6.871$$

Paso 2: Determinar el valor t_{crit} adecuado

- Para n - 1 (5 - 1 = 4) grados de libertad y un α =0,01, el valor t_{crit} se determina a partir de la tabla de valores críticos de la prueba t (véase la página 10-12).

$$t_{crit} = 4{,}604$$

Paso 3: Determinar si los valores de las muestras divididas por el contratista y la agencia se correlacionan

6,871 > 4,604 ($t_{pair} \geq t_{crit}$)

Conclusión: Dado que el valor calculado t_{par} es mayor que el valor t_{cr}, la diferencia entre los resultados de las pruebas emparejadas de las muestras divididas es mayor de lo que cabría esperar por casualidad (es decir, no se considera que las muestras divididas procedan de la misma población). Por lo tanto, asumimos que los resultados de las pruebas del contratista y la agencia a partir de mediciones emparejadas no son similares (es decir, no se correlacionan). Esto indica que los técnicos, los métodos de prueba y los equipos de prueba no están proporcionando resultados similares. Tenga en cuenta que no podemos sacar ninguna conclusión sobre la variación del material.

Ejemplo 10-B: Antes de comenzar la producción de la base de agregado triturado en un proyecto, es conveniente que el contratista y la agencia realicen una correlación para el tamiz de 75 µm (n.º 200). Los resultados de las pruebas de las muestras divididas se proporcionan en la tabla siguiente. Determine si existe alguna diferencia entre los resultados del contratista y los de la agencia.

Ejemplo 10-B: Porcentaje de resultados que superan la prueba de 75 µm			
N.º de muestra dividida	**Contratista**	**Agencia**	**Diferencia (X_d)***
1	5,2	5,4	-0,2
2	5,7	6,0	-0,3
3	5,1	6,2	-1,1
4	6,0	6,5	-0,5
5	5,8	5,7	0,1
6	5,3	5,8	-0,5 %
		X_d =	-0,4167
		s_d =	0,4021

*NOTA: Esta diferencia no es la diferencia absoluta, sino la diferencia algebraica. Asegúrese de que la resta (es decir, contratista menos agencia) se realice en la misma dirección para cada conjunto de muestras divididas.

Paso 1: Calcular la estadística t para las mediciones emparejadas

- El valor t_{pair} para los resultados de la prueba de muestras divididas se determina de la siguiente manera:

$$t_{pair} = \frac{\left|\overline{X}_d\right|}{\left(\frac{S_d}{\sqrt{n}}\right)}$$

$$t_{pair} = \frac{\left|-0.4167\right|}{\left(\frac{0.4021}{\sqrt{6}}\right)} = \frac{0.4167}{\left(\frac{0.4021}{2.4495}\right)} = \frac{0.4167}{0.1642} = 2.538$$

Ejemplo 10-B (continuación):

Paso 2: Determinar el valor t_{crit} adecuado

- Para n - 1 (6 - 1 = 5) grados de libertad y un α =0,01, el valor t_{crit} se determina a partir de la tabla de valores críticos de la prueba t (véase la página 10-12).

$$t_{crit} = 4{,}032$$

Paso 3: Determinar si los valores de las muestras divididas entre el contratista y la agencia se correlacionan

$$\mathbf{2{,}538 < 4{,}032\ (t_{pair} < t_{crítico})}$$

Conclusión: Dado que el valor t_{pair} calculado es inferior al valor $t_{crítico}$, no hay motivos para creer que los resultados de las pruebas de las muestras divididas sean diferentes (es decir, se supone que las muestras divididas proceden de la misma población). Por lo tanto, suponemos que los resultados de las pruebas del contratista y la agencia a partir de mediciones emparejadas son similares (es decir, que sí se correlacionan).

Si, durante el proceso de correlación, determinamos que los resultados de las pruebas del contratista y la agencia a partir de mediciones emparejadas indican que el método de prueba, los técnicos y/o el equipo de prueba proporcionan resultados diferentes, ¿qué hacemos?

Debemos buscar una fuente de variación en uno o más de los siguientes elementos:

- El procedimiento de prueba
- Los técnicos
- El equipo

Es necesario encontrar la fuente de la diferencia antes de continuar con el procedimiento de correlación. Si los resultados de la prueba no son repetibles utilizando muestras divididas, no hay motivos para pensar que la validación de muestras independientes producirá resultados comparables.

Ejemplo 10-C: Se realizó una correlación entre los resultados de las pruebas de muestras divididas del contratista y la agencia para determinar el contenido de aire arrastrado del PCC. Se utilizó la hoja de cálculo de Excel que se muestra a continuación para realizar el análisis de la prueba t pareada.

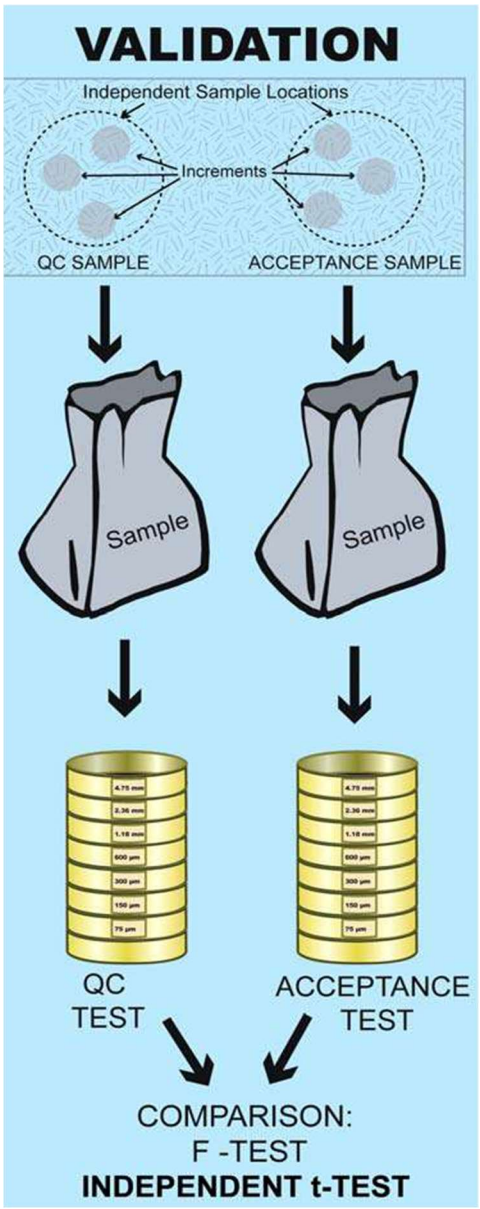
Número de pares	Resultados de la prueba		Diferencia
	QC	Aceptación	
1	5,1	8,0	-2,9
2	4,5	7,0	-2,5
3	4,8	7,6	-2,8
4	6,6	8,2	-1,6
5	4,8	7,9	-3,1
6	6,0	7,5	-1,5
7	6,0	8,0	-2,0
8	6,9	8,7	-1,8
9	4,5	6,5	-2,0
10	4,5	5,5	-1,0
11	4,6	4,9	-0,3
12	4,9	3,2	1,7
$\sum X_d$			-19,8
$\overline{X}_d$			1,65
S_d			1,3304

RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN	
Número de pruebas (n)	12
Grado de libertad (n - 1)	11
Alfa	0,01
t_{pair}	4,296
t crit	3,106
t_{pair} > tcrit?	**sí: las pruebas emparejadas son diferentes**

Conclusión: Dado que el valor calculado de t_{pair} es mayor que el valor$_{de}$ t_{crit}, la diferencia entre los resultados de las pruebas emparejadas de las muestras divididas es mayor de lo que cabría esperar por casualidad (es decir, no se considera que las muestras divididas procedan de la misma población). Por lo tanto, asumimos que los resultados de las pruebas del contratista y de la agencia a partir de mediciones emparejadas no son similares (es decir, no se correlacionan).

10.3 - Validación de los datos de control de calidad utilizados en la determinación de la aceptación

Definición de validación



El proceso de correlación proporciona un nivel de confianza en que los procedimientos de prueba del contratista y la agencia pueden producir resultados similares aceptables. Esto es importante como transición a ***la validación***, que es la comparación de los resultados de las muestras de control de calidad y aceptación obtenidos de forma independiente. En consecuencia, la validación se define de la siguiente manera:

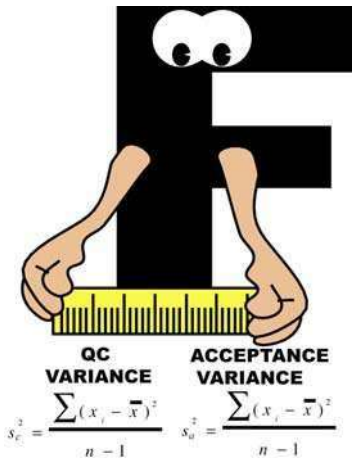
> **Validación**: «La comparación matemática de dos conjuntos de datos obtenidos de forma independiente (por ejemplo, los datos de aceptación de la agencia frente a los datos de control de calidad del contratista) para determinar si se puede suponer que proceden de la misma población».

El objetivo de la validación es proporcionar un método para comparar dos conjuntos de datos diferentes de múltiples resultados de pruebas para determinar si el material probado proviene de la misma población. Las pruebas matemáticas utilizadas para realizar la comparación se denominan ***pruebas de hipótesis***.

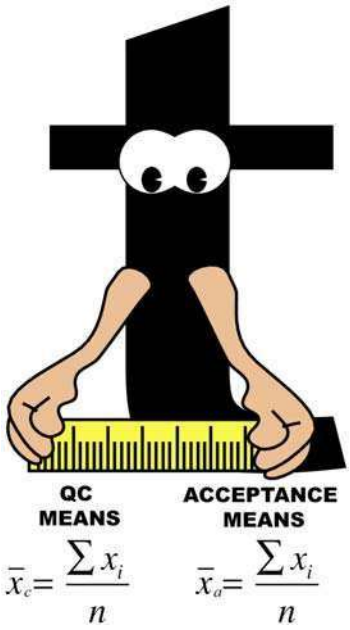
Al comparar dos conjuntos de datos para la validación, como los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista y los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia (o al comparar muestras obtenidas de forma independiente para la IA), es importante comparar tanto las medias como las varianzas. Una prueba diferente es utilizadas para cada una de estas propiedades. Las dos pruebas utilizadas para la validación son:

- Prueba F
- Prueba t independiente

Pruebas de hipótesis utilizadas para la validación



La primera prueba de hipótesis utilizada en el proceso de validación es la ***prueba F***. La prueba F proporciona un método para comparar las **varianzas** (desviación estándar al cuadrado) de dos conjuntos de datos. La prueba F se basa en la relación entre la varianza estadística de la muestra de los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista, s_c^2 , (o la desviación estándar de las pruebas independientes del contratista, al cuadrado), y la varianza estadística de la muestra de los resultados de las pruebas de aceptación de la agencia, s_a^2 , (o la desviación estándar de las pruebas independientes de la agencia, al cuadrado). La relación entre las dos varianzas calculadas (s_c^2 y s_a^2) proporciona una ***estadística F*** (F), que luego se compara con un valor ***F crítico*** (F_{crit}) obtenido a partir de una tabla similar a la utilizada para la prueba t pareada. La prueba F por sí sola no puede determinar si los dos conjuntos de datos independientes proceden de la misma población. La prueba F se utiliza para determinar qué versión de la prueba t independiente se debe ejecutar.



La segunda prueba de hipótesis utilizada en el proceso de validación es la ***prueba t independiente*** (no la prueba t pareada). La prueba t independiente evalúa las diferencias en las medias de dos conjuntos de datos obtenidos de forma independiente. La prueba t se utiliza para comprobar si la media estadística de la muestra de los resultados de la prueba de control de calidad del contratista ($\bar{x}_c$) y la media estadística de la muestra de los resultados de la prueba de aceptación de la agencia ($\bar{x}_a$) proceden de poblaciones con la misma media. Dependiendo del resultado de la prueba F, se utiliza una de dos fórmulas para calcular una ***estadística t*** (t), que luego se compara con un valor ***t crítico*** (t_{crit}) obtenido de la misma tabla utilizada para la prueba t pareada. Si la estadística t calculada (t) es inferior al valor t crítico (t_{crit}), se puede suponer que los datos de control de calidad y los datos de aceptación proceden de la misma población.

Realización de la prueba F y la prueba t independiente

Las pruebas de hipótesis, como la prueba F y la prueba t independiente, se realizan con un nivel de significación seleccionado, alfa (α). El nivel de significación es la probabilidad de decidir incorrectamente que los conjuntos de datos son diferentes cuando en realidad provienen de la misma población. Se recomienda utilizar un nivel de significación para α entre 0,01 y 0,05.

Al validar muestras de control de calidad obtenidas de forma independiente por el contratista y muestras de aceptación de la agencia mediante la prueba F y la prueba t independiente, es importante que se cumplan las siguientes consideraciones:

- Se utilizó un muestreo aleatorio para obtener las muestras de material.
- Las muestras se obtuvieron de forma independiente unas de otras (sin pares divididos).
- Los dos conjuntos de resultados de las pruebas deben haber sido muestreados del mismo lote.
- Se han utilizado los mismos procedimientos correlacionados de muestreo y ensayo.

La capacidad del procedimiento de validación para identificar diferencias entre dos conjuntos de resultados de pruebas independientes depende del número de resultados de pruebas que se comparan. Cuanto mayor sea el número de pruebas, mayor será la capacidad del procedimiento para identificar diferencias válidas.

Si se determina que es probable que exista una diferencia significativa entre la varianza o la media, se debe identificar el origen de la diferencia. Recuerde que estas pruebas identifican una diferencia, no una causa. Determinar la causa real de la diferencia requerirá cierta investigación. Las pruebas de correlación de muestras divididas son una forma de investigación que puede conducir al descubrimiento de la causa.

Las páginas siguientes resumen los pasos clave para realizar el procedimiento de validación.

Paso 1: Realizar la prueba F

- **Calcule la varianza** (s^2) para cada conjunto de resultados de pruebas (contratista y agencia).

$$s_c^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_c)^2}{n_c - 1} \qquad s_a^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x}_a)^2}{n_a - 1}$$

Donde: s_c^2 = Varianza de las muestras de control de calidad del contratista
s_a^2 = Varianza de las muestras de aceptación de la agencia
X_i = Valores de prueba individuales
$\bar{x}$ = Media de las pruebas
n = Número de pruebas

- **Calcule la estadística F** utilizando el mayor de s_c^2 o s_a^2 en el numerador y el menor de s_c^2 o s_a^2 en el denominador de la ecuación F.

$$F = \frac{s_a^2}{s_c^2} \quad \text{or} \quad F = \frac{s_c^2}{s_a^2}$$

- **Determine los grados de libertad** tanto para el numerador como para el denominador en la ecuación F. Los grados de libertad son simplemente el número de muestras (n) menos uno, que se utiliza para calcular la estadística F anterior.

- **Determine F_{crit}** a partir de la Tabla 1 (Valores críticos, F_{crit}, para la prueba F para un nivel de significación) (*FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad*). Asegúrese de utilizar los grados de libertad correctos tanto para el numerador como para el denominador.

Paso 1: Realizar la prueba F (continuación)

- **Extraiga una conclusión de la prueba F:**

➢ Si el valor F calculado es inferior a F_{crit} , no hay motivos para creer que los dos conjuntos de datos tengan variabilidades diferentes. Se realizará la prueba t independiente utilizando la varianza combinada para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias muestrales.

➢ Si F es mayor o igual que F_{crit} – Los dos conjuntos tienen variabilidades significativamente diferentes. Se realizará la prueba t independiente utilizando las varianzas individuales para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias muestrales.

➢ Nota: al aplicar la prueba t independiente de acuerdo con los procedimientos descritos en *FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad*, la prueba F por sí sola no puede determinar si los dos conjuntos de datos provienen de la misma población. La prueba F se utiliza para determinar qué versión de la prueba t se debe ejecutar.

Paso 2: Si F < F_{crit} , realice la prueba t independiente utilizando la varianza combinada

- **Calcule la media** de cada conjunto de pruebas (contratista y agencia).

$$\bar{x}_c = \frac{\sum x_i}{n} \qquad \bar{x}_a = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde: $\bar{x}_c$ = Media de las muestras de control de calidad del contratista
$\bar{x}_a$ = Media de las muestras de aceptación de la agencia
X_i = Valores de pruebas individuales
n = Número de pruebas

- **Calcule la prueba t independiente utilizando la varianza combinada** con los datos de control de calidad y aceptación.

$$s_p^2 = \frac{s_c^2(n_c - 1) + s_a^2(n_a - 1)}{n_c + n_a - 2}$$

Donde: s_p^2 = Varianza combinada
s_c^2 = Varianza de las pruebas de control de calidad
s_a^2 = Varianza de las pruebas de aceptación
n_c = Número de pruebas de control de calidad
n_a = Número de pruebas de aceptación

Paso 2: Si F < F_{crit} , realice la prueba t independiente utilizando la varianza combinada (continuación)

- **Calcular la estadística t** (utilizando la ecuación para la varianza combinada)

$$t = \frac{\left|\bar{x}_c - \bar{x}_a\right|}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_c} + \frac{s_p^2}{n_a}}}$$

Donde: t = estadística t
$\bar{x}_{xc}$ = Media de las pruebas de control de calidad
$\bar{x}_{xa}$ = Media de las pruebas de aceptación
s_p^2 = Varianza combinada
n_c = Número de pruebas de control de calidad
n_a = Número de pruebas de aceptación

- **Determine los grados de libertad combinados** tanto para el numerador como para el denominador. Los grados de libertad combinados = (n_c + n_a – 2).

- **Determine t_{crit}** a partir de la Tabla 2 (Valores críticos, t_{crit} , para la prueba t para varios niveles de significación) que se encuentra en *FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad.*

- **Saque una conclusión a partir de la prueba t independiente utilizando la varianza combinada:**

➢ Si el t calculado es menor que t_{crit} - No hay motivos para creer que los dos conjuntos de datos tengan medias diferentes, y es razonable suponer que los conjuntos de datos describen la misma población.

➢ Si el valor calculado t es mayor que t_{crit} - Hay motivos para creer que los dos conjuntos de datos tienen medias diferentes y, por lo tanto, no describen la misma población.

Paso 3: Si F ≥ F_{crit} , realice la prueba t independiente utilizando las varianzas individuales

- **Calcule la media** para cada conjunto de pruebas (contratista y agencia).

$$\bar{x}_c = \frac{\sum x_i}{n} \qquad \bar{x}_a = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde: $\bar{x}_c$ = Media de las muestras de control de calidad del contratista
$\bar{x}_a$ = Media de las muestras de aceptación de la agencia
X_i = Valores de pruebas individuales
n = Número de pruebas

- **Calcular la estadística t** (utilizando la ecuación para varianzas individuales)

$$t = \frac{\left|\bar{x}_c - \bar{x}_a\right|}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_c} + \frac{s_a^2}{n_a}}}$$

Donde: t = estadística t
$\bar{x}_c$ = Media de las pruebas de control de calidad
$\bar{x}_a$ = Media de las pruebas de aceptación
s_c^2 = Varianza de las pruebas de control de calidad
s_a^2 = Varianza de las pruebas de aceptación
n_c = Número de pruebas de control de calidad
n_a = Número de pruebas de aceptación

Paso 3: Si F ≥ F_{crit} , realice la prueba t independiente utilizando las varianzas individuales (continuación)

- **Determine los grados de libertad efectivos (f')**

$$f' = \frac{\left(\frac{s_c^2}{n_c} + \frac{s_a^2}{n_a}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{s_c^2}{n_c}\right)^2}{n_c + 1} + \frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a}\right)^2}{n_a + 1}\right]} - 2$$

Donde: f' = Grados de libertad efectivos
s^2 = Varianza de las pruebas de control de calidad
s_a^2 =Varianza de las pruebas de aceptación
n_c = Número de pruebas de control de calidad
n_a = Número de pruebas de aceptación

- **Determine t_{crit}** a partir de la Tabla 2 (Valores críticos, t_{crit} , para la prueba t para varios niveles de significación).

- **Saque una conclusión a partir de la prueba t independiente utilizando las varianzas individuales:**

➢ Si el valor calculado t es menor que t_{crit} - No hay motivos para creer que los dos conjuntos de datos tengan medias diferentes, y es razonable suponer que los conjuntos de datos describen la misma población.

➢ Si el valor t calculado es mayor que t_{crit} - Hay motivos para creer que los dos conjuntos de datos tienen medias diferentes y, por lo tanto, no describen la misma población.

Ejemplo 10-D: Utilizando los datos de huecos de aire HMA del capítulo 8, ejemplo 8-C (muestras de aceptación de la agencia) y del capítulo 9, ejemplo 9-E (muestras de control de calidad del contratista), la agencia realizó la validación de los datos de control de calidad mediante la prueba F y la prueba t independiente utilizando una hoja de cálculo informática con los siguientes resultados. Se seleccionó un valor de significación (alfa) de 0,01.

Datos de la muestra de control de calidad	Datos de muestras de aceptación
3,6	8,2
4,5	3,9
4,4	4,7
3,9	5,4
4,6	4,1
4,8	
4,6	
5,2	
4,8	
5,0	
3,8	
4,2	
4,2	
4,3	
4,0	
4,3	
4,0	
3,6	
3,6	
3,5	
4,3	
4,2	
4,6	
3,0	
3,7	

Prueba F		
	QC	**Aceptación**
Recuento de datos	25	5
S	0,524	1,744
S^2	0,275	3,042
F	11,06	
Grados de libertad, numerador:	4	
Grados de libertad, denominador:	24	
F_{crit} (Tabla 1)	4,89	
$F<F_{crit}$?	NO, UTILIZAR VARIANZA INDIVIDUAL	

Prueba t independiente (varianza combinada), $F <F_{crit}$		
Varianza combinada	NA	
Media	4,19	5,26
Prueba t	NA	
Libertad de grados combinada	NA	
$t_{crítica}$	NA	
$t<t_{crit}$?	NA	
Prueba t independiente (varianzas individuales), F^3F_{crit}		
Estadística t	1,360	
Numerador f	0,38365636	
Denominador f'	4,65385E-06	0,06169176
f' (grados de libertad efectivos)	4	
t_{crit} (Tabla 2)	4,604	
$t<_{tcrit}$?	SÍ, MISMA POBLACIÓN	

A pesar de que la prueba F indica una diferencia estadísticamente significativa entre las varianzas de los dos conjuntos de datos, la prueba t independiente indica que aún se puede considerar que los dos conjuntos de datos provienen de la misma población.

Ejemplo 10-E: Utilizando los datos del contenido de aglutinante HMA del capítulo 8, ejemplo 8-C (muestras de aceptación de la agencia) y del capítulo 9, ejemplo 9-E (muestras de control de calidad del contratista), la agencia realizó la validación de los datos de control de calidad mediante la prueba F y la prueba t independiente utilizando una hoja de cálculo informática con los siguientes resultados. Se seleccionó un valor de significación (alfa) de 0,01.

Datos de muestra de control de calidad	Datos de muestras de aceptación
5.2	5.7
4.8	5,7
5,3	4,8
5,3	5,2
5,2	5,4
5,1	
4,9	
4,7	
5,3	
4,9	
5,1	
5,2	
5,1	
4,8	
4,7	
5,1	
4,7	
4,7	
5,0	
5,2	
5,3	
4,7	
5,0	
4,9	
4,7	

Prueba F		
	QC	**Aceptación**
Recuento de datos	25	5
S	0,224	0,378
S^2	0,05	0,143
F	2,86	
Grados de libertad, numerador:	4	
Grados de libertad, denominador:	24	
F_{crit} (Tabla 1)	4,89	
$F<F_{crit}$?	SÍ, UTILIZAR LA VARIANZA AGRUPADA	

Prueba t independiente (varianza combinada), $F <F_{crit}$		
Varianza combinada	0,063	
Media	5	5,36
Prueba t	2,921	
Grado de libertad combinado	28	
$t_{crítica}$	2,763	
$t<t_{crítico}$?	POBLACIÓN DIFERENTE	
Prueba t independiente (varianzas individuales), F^3F_{crit}		
Estadística t	utilizar varianza combinada	
f' numerador	NA	
denominador f'	NA	NA
f' (grados de libertad efectivos)	NA	
$t_{crítico}$ (Tabla 2)	NA	
$t<t_{crit}$?	utilizar la varianza combinada	

En este ejemplo, la prueba F indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los dos conjuntos de datos.Sin embargo, la prueba t independiente (utilizando un factor alfa de 0,01) indica que sí existe una diferencia estadísticamente significativa

entre las medias de los dos conjuntos de datos. Por lo tanto, concluiríamos que los dos conjuntos de datos no proceden de la misma población.

Ejemplo 10-F: Utilizando los datos de cobertura de PCC del capítulo 8, ejemplo 8-H (muestras de aceptación de la agencia) y del capítulo 9, ejemplo 9-F (muestras de control de calidad del contratista), la agencia realizó la validación de los datos de control de calidad mediante la prueba F y la prueba t independiente utilizando una hoja de cálculo informática con los siguientes resultados. Se seleccionó un valor de significación (alfa) de 0,01.

Datos de muestras de control de calidad	Datos de muestras de aceptación
2,16	2,13
2,05	2,64
1,89	2,24
2,20	1,89
2,44	2,32
2,05	
2,28	
1,85	
1,81	
2,16	
2,01	
1,97	
2,20	
2,32	
2,01	
2,48	
2,28	
2,13	
2,28	
1,89	
1,93	
2,05	
2,01	
1,97	
1,93	

Prueba F		
	QC	**Aceptación**
Recuento de datos	25	5
S	4,646	6,964
S^2	21,585	48,497
F	2,25	
Grados de libertad, numerador:	4	
Grados de libertad, denominador:	24	
F_{crit} (Tabla 1)	4,89	
$F<F_{crit}$?	SÍ, UTILIZAR VARIANZA AGRUPADA	

Prueba t independiente (varianza agrupada), $F <F_{crit}$		
Varianza combinada	25,430	
Media	53,2	57
Prueba t	1,538	
Grados de libertad combinados	28	
t_{crit}	2,763	
$t<t_{crítico}$?	MISMA POBLACIÓN	
Prueba t independiente (varianza individual), F^3F_{crit}		
Estadística t	utilizar varianza combinada	
f' numerador	NA	
denominador f'	NA	NA
f' (grados de libertad efectivos)	NA	
$t_{crítico}$ (Tabla 2)	NA	
$t<_{tcrit}$?	utilizar la varianza combinada	

En este ejemplo, la prueba F indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los dos conjuntos de datos. La prueba t independiente (utilizando un alfa de 0,01) también indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos conjuntos de datos. Por lo tanto, concluiríamos que los dos conjuntos de datos proceden de la misma población.

Puntos clave para la validación

A la hora de utilizar la prueba F y la prueba t independiente para realizar la validación, es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

- La validación se realiza utilizando la prueba F y la prueba t independiente.
- Ejecute primero la prueba F
- La prueba t independiente tiene más peso que la prueba F.
- Si las pruebas muestran que las poblaciones no son iguales, utilice los resultados de las pruebas de la agencia solo para el cumplimiento del contrato.
- Se sugiere utilizar todos los resultados disponibles de las muestras aleatorias de control de calidad del contratista y los resultados de aceptación de la agencia para un lote determinado al realizar la validación. Se recomienda utilizar todos los datos aleatorios y seguir aumentando los números (n) dentro del lote. Sin embargo, hay que tener en cuenta que si el valor n es demasiado grande, la sensibilidad a los valores de las pruebas individuales disminuye.
- A medida que se sigue utilizando esta herramienta, es posible utilizar una media móvil de muestras, ya sea dentro de un lote o entre varios lotes. Por lo tanto, una vez que se haya obtenido el número mínimo de muestras requerido por la agencia, por ejemplo, ocho, se deben descartar las pruebas anteriores y añadir las nuevas pruebas, de modo que se mantenga un tamaño de muestra estadístico actualizado, en este caso, de ocho.
- Al realizar la prueba t, se recomienda utilizar un nivel de significación, α, de 0,01 al introducir la tabla 2 (de *FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad)*.
- Al realizar la prueba F, utilice n-1 para los grados de libertad como entrada al introducir la Tabla 1 del Apéndice F del documento FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad.
- Dado que la prueba F es la relación entre un número y otro, utilice siempre el número mayor como numerador.

10.4 - Uso de PWL para calcular los factores de pago

Definición del factor de pago

Como se muestra en el capítulo 8, el nivel de calidad de una característica de calidad concreta se representa mediante el porcentaje dentro de los límites (PWL). Habrá un determinado PWL, tal y como se indica en la especificación, que garantiza el 100 % del pago. Las especificaciones de control de calidad también proporcionarán un mecanismo para ajustar el pago en función de la calidad del material. En consecuencia, ***los factores de pago*** se corresponden con el PWL.

Un factor de pago se define de la siguiente manera:

> **Factor de pago**: "Factor de multiplicación, a menudo expresado como porcentaje, que tiene en cuenta una única característica de calidad y se utiliza para determinar el pago al contratista por una unidad de trabajo" .

Normalmente, el término «factor de pago» se aplica solo a una característica de calidad. El objetivo de los factores de pago es recuperar las pérdidas previstas por un trabajo de mala calidad y recompensar el aumento del rendimiento obtenido gracias a una mayor consistencia del producto. Un pavimento de mala calidad podría justificar un factor de pago bajo del 75 %, mientras que un pavimento de calidad excepcional podría justificar un factor de incentivo del 10 %.

Enfoques para el uso de factores de pago

Algunas escalas de pago están sesgadas a la baja y no conceden el 100 % del pago, en promedio, cuando el trabajo se encuentra exactamente en el nivel de calidad que se ha definido como aceptable, es decir, en el nivel de calidad aceptable (AQL). El AQL se define de la siguiente manera:

> **Nivel de calidad aceptable (AQL)**: " El nivel mínimo de calidad real establecido para una característica de calidad que se considera totalmente aceptable cuando se utiliza una medida de calidad concreta" .

Por ejemplo, cuando la medida de calidad utilizada es el porcentaje dentro de los límites (PWL), el AQL es el PWL establecido (no estimado) en el que el lote puede considerarse totalmente aceptable. Los planes de aceptación deben diseñarse de manera que el material AQL reciba una remuneración esperada (EP) del 100 %.

Una escala salarial sesgada a la baja es el resultado de limitar el factor salarial máximo al 100 %. Esto se puede superar aplicando un factor salarial positivo que se pueda justificar para aplicarlo a una mayor calidad. Se recomienda establecer el nivel de calidad aceptable en, por ejemplo, el 95 %, y otorgar el 100 % del pago a este nivel.

Las especificaciones de garantía de calidad suelen utilizar uno de los siguientes enfoques para determinar los factores salariales:

- Tablas de factores salariales
- Fórmulas de factores salariales
- Curvas de factores salariales

En cada enfoque, los factores de pago están directamente relacionados con el porcentaje dentro de los límites (PWL) obtenido del análisis del nivel de calidad. Se recomienda utilizar escalas de pago continuas en lugar de factores de pago escalonados. Los factores de pago deben basarse, en última instancia, en una evaluación del valor actual y del coste del ciclo de vida. A continuación se analiza con más detalle cada uno de estos enfoques de los factores de pago.

Tablas de factores de pago

Históricamente, las tablas de factores de pago han sido el medio más común utilizado para relacionar el pago con el PWL. La ventaja de las tablas de factores de pago es que proporcionan un formato de consulta sencillo (basado en el PWL calculado y el número de muestras utilizadas para calcular el PWL) con el fin de obtener el factor de pago. La siguiente tabla de factores de pago extraída (reproducida de USDOT FHWA FP-03, *Especificaciones estándar para carreteras y puentes en proyectos de carreteras federales*) es típica en cuanto a la forma de presentación y consulta con respecto a otras tablas de factores de pago.

Nivel de calidad requerido (PWL) para un tamaño de muestra determinado (n) y factor de pago correspondiente															
Factor de pago	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10 a n=11	n=12 a n=14	n=15 a n=17	n=18 a n=22	n=23 a n=29	n=30 a n=42	n=43 a n=66	n=67 a n= infinito
1,05						100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,04					100	99	97	95	96	96	96	97	97	97	97
1,03				100	98	96	84	92	93	93	94	95	95	96	96
1,02				99	97	94	91	89	90	91	92	93	93	94	94
1,01	100	100	100	98	95	92	89	87	88	89	90	91	92	92	93
1,00	69	75	78	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
0,99	66	72	76	78	80	81	82	83	84	85	86	87	89	90	91
0,98	64	70	74	76	78	79	80	81	82	84	85	86	87	88	90
0,97	63	68	72	74	76	77	78	79	81	82	83	84	86	87	88
0,96	61	67	70	72	74	75	76	78	79	81	82	83	84	86	87
0,95	59	65	68	71	72	74	75	76	78	79	80	82	83	84	86
0,94	58	63	67	69	71	72	73	75	76	78	79	80	82	83	85
0,93	57	62	65	67	69	71	72	73	75	76	78	79	80	82	84
0,92	55	60	63	66	68	69	70	72	73	75	76	78	79	81	82
0,91	54	59	62	64	66	68	69	70	72	74	75	76	78	79	81

Una de las desventajas de una tabla de factores salariales es que contiene lagunas en el PWL para distintos tamaños de población (obsérvese en la tabla anterior, donde n = 6, que entre los factores salariales de 0,99 y 1,00 hay una laguna en el PWL del 2 %). Las lagunas en las tablas de factores salariales producen lo que se denomina un ajuste salarial «escalonado», ya que no hay forma de obtener valores entre los escalones de la tabla. Esto tiene como consecuencia una representación errónea del salario para algunos PWL calculados.

Fórmulas de factores salariales

A diferencia de una tabla de factores salariales, que proporciona una escala salarial escalonada, una fórmula de factor salarial presenta una ecuación matemática que normalmente deriva una escala salarial lineal a partir del PWL. Las fórmulas de factor salarial pueden variar de una agencia de transporte a otra. A continuación se muestra la fórmula del factor salarial proporcionada en *FHWA-RD-02-095, Procedimientos óptimos para las especificaciones de garantía de calidad.*

Factor salarial (PF) = 0,55 + 0,5 (PWL*)

*NOTA: En esta ecuación, el PWL se expresa como un valor decimal (por ejemplo, 0,85). Para un PWL de 60 (0,60) o menos, la agencia realizará una evaluación especial del material y determinará la acción adecuada. La agencia puede optar por otras expresiones de la relación para el factor salarial.

A diferencia de las tablas de factores salariales, la fórmula del factor salarial no produce ninguna diferencia en el PWL y, por lo tanto, proporciona un enfoque continuo en lugar de escalonado para los factores salariales. Para simplificar, en los ejemplos siguientes se utiliza una fórmula de factor salarial.

Curva del factor de pago

Una curva de factores salariales es simplemente una representación gráfica de una ecuación salarial. Al igual que la tabla de factores salariales, facilita la búsqueda y no requiere cálculos matemáticos adicionales. Sin embargo, a diferencia de las tablas de factores salariales, la curva (dado que se basa en la ecuación) no es escalonada y proporciona otro medio de ajuste salarial continuo.

Ejemplos de factores salariales

Ejemplo 10-G: Se utilizaron los datos de aceptación de la agencia para los huecos de aire del capítulo 8, así como los datos de control de calidad del contratista para los huecos de aire del capítulo 9 (n = 30) para determinar el PWL. Recuerde que los datos de control de calidad se validaron con los datos de la agencia en el ejemplo 10-D y, posteriormente, se calculó un PWL del 70 %. Utilizando la fórmula del factor de pago, determine el factor de pago para este lote de material.

PF = 0,55 + 0,5 (PWL)
PF = 0,55 + 0,5 (0,70)
PF = 0,55 + 0,35
PF = 0,90, o 90 %

Ejemplo 10-H: Se utilizaron los datos de aceptación de la agencia para el contenido del aglutinante del capítulo 8 (n = 5) para determinar el PWL. Recuerde que los datos de control de calidad del contratista no se validaron con los datos de la agencia en el ejemplo 10-E y, por lo tanto, solo se utilizaron los datos de aceptación de la agencia para calcular el pago. Se calculó un PWL del 45 %. Utilizando la fórmula del factor de pago, determine el factor de pago para este lote de material.

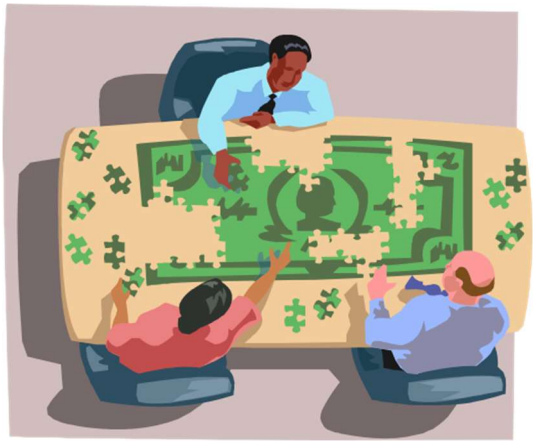
PF = 0,55 + 0,5(PWL) PF=
0,55 + 0,5 (0,45)
PF = 0,55 + 0,225
PF = 0,775, o 77,5 %

Ejemplo 10-I: Se utilizaron los datos de cobertura PCC de aceptación de la agencia del capítulo 8, así como los datos de cobertura QC PCC de control de calidad del contratista del capítulo 9 (n = 30) para determinar el PWL. Recuerde que los datos QC de control de calidad se validaron con los datos de la agencia en el ejemplo 10-F y, posteriormente, se calculó un PWL de 72. Utilizando la fórmula del factor de pago, determine el factor de pago para este lote de material.

PF = 0,55 + 0,5 (PWL)
PF = 0,55 + 0,5 (0,72)
PF = 0,55 + 0,36
PF = 0,91, o 91,0 %

10.5 - Uso de factores de pago compuestos

Definición de factor de pago compuesto



Dado que el rendimiento final de la mayoría de los elementos de construcción depende de varias características de calidad, las especificaciones de construcción de carreteras suelen incluir múltiples requisitos de aceptación, muchos de los cuales dan lugar a ajustes en el importe de la oferta del contrato. Cuando aparecen dos o más cláusulas de factores de pago en una sola especificación, normalmente se combinan en un ***factor de pago compuesto***. Un factor de pago compuesto se define de la siguiente manera:

> **Factor de pago compuesto**: " Factor de multiplicación, a menudo expresado en porcentaje, que tiene en cuenta dos o más características de calidad y se utiliza para determinar el pago final del contratista por una unidad de trabajo" .

Enfoques del factor de pago compuesto

La forma en que se estructura un factor de pago compuesto debe indicarse explícitamente, ya que hay varias maneras de hacerlo. Como se explica en el capítulo 6, los cuatro métodos o enfoques sugeridos son los siguientes:

- Factor de pago individual mínimo
- Método del promedio (o promedio ponderado)
- Método del producto
- Método de suma

La mayoría de las especificaciones de garantía de calidad utilizan el método de promedio ponderado para obtener un factor de pago compuesto para el lote, que se analiza con más detalle a continuación.

Enfoque de promedio ponderado

Mediante el método de la media ponderada, se determinan los factores de pago individuales (PF_n) y se multiplican por sus respectivos factores de ponderación (f_i). El valor de cada ponderación lo determina la agencia mediante observación empírica u otras consideraciones de ingeniería y suele aparecer en forma de tabla en las especificaciones de garantía de calidad. A continuación, estos productos se suman y se dividen por la suma de las ponderaciones (∑f), tal y como se representa en la siguiente ecuación:

$$CPF = \frac{[f_1 (PF_1) + f_2 (PF_2) + ...f_i (PF_i)]}{\sum f_i}$$

Donde:

CPF = Factor de pago compuesto

f_i = Factor de ponderación del ajuste salarial que figura en las especificaciones de la característica de calidad aplicable

PF_i = Factor salarial para la característica de calidad aplicable

∑f = Suma de los factores de ponderación "f" (ajuste salarial)

Ejemplo 10-J: Utilizando los factores de pago para las características de calidad del asfalto mezclado en caliente relacionadas, determine el factor de pago compuesto (CPF) para un lote de material de acuerdo con los factores de pago ponderados dados. Cada una de las características de calidad individuales incluye un pago máximo del 104 %.

Característica de calidad	Factor de pago (%)	Ponderación del ajuste salarial (%)
Contenido de aglutinante	103,2	20
Vacíos de aire en laboratorio	102,5	35
Huecos en el mineral agregado mineral (VMA)	104,0	10
Densidad in situ	99,8	35

$CPF = [f_1 (PF_1) + f_2 (PF_2) + f_3 (PF_3) + f_4 (PF_4)] / \sum f$

CPF = [20(103,2) + 35(102,5) + 10(104,0) + 35(99,8)] / 100

CPF = (2064+ 3588+ 1040+ 3493) / 100

CPF = 10185 / 100

CPF = 101,85 redondeado a 101,8

Ejemplo 10-K: Utilizando el factor de pago determinado para la cobertura sobre acero en el ejemplo del problema 10-I y la información adicional sobre el Factor de Pago que se presenta en la tabla, junto con los factores de peso presentados, determine el Factor de Pago Compuesto para el lote de material.

Característica de calidad	Factor de pago (%)	Ajuste salarial Peso (%)
Recubrimiento sobre acero	91,0	20
Resistencia del hormigón	105,0	50
Contenido de aire	98,5	20
Permeabilidad rápida al cloruro	96,7	10

$CPF = [f_1 (PF_1) + f_2 (PF_2) + f_3 (PF_3) + f_4 (PF_4)] / \sum f$

$CPF = [20 (91,0) + 50(105) + 20(98,5) + 10(96,7)] / 100$

$CPF = (1820 + 5250 + 1970 + 967) / 100$

$CPF = 10007 / 100$

CPF = 100,07, redondeado a 100,1 (o 1,00)

10.6 - Determinación del ajuste salarial

Definición del ajuste salarial

Un ***ajuste salarial*** se define de la siguiente manera:

> **Ajuste salarial**: "La cantidad real, ya sea en dólares o en dólares por área/peso/volumen, que se añadirá o restará al pago final del contratista por una unidad de trabajo" .

Los ajustes salariales se aplican a todos los factores salariales y factores salariales compuestos que se han definido para un elemento salarial en las Especificaciones de garantía de calidad. Una vez determinados todos los ajustes salariales, se pueden sumar para determinar el ajuste salarial final.

Los ajustes salariales suelen adoptar una de estas dos formas:

- Ajustes salariales individuales
- Ajustes salariales compuestos

Ajustes salariales individuales

La fórmula para el ajuste salarial individual aplicado a los factores salariales es la siguiente:

$$PA = (PF_i - 1)\ (Q_i)\ (P_i)$$

Dónde:

PA = Ajuste salarial en dólares

PF_i = Factor salarial (en forma decimal) para la Característica de Calidad individual

Q_i = Cantidad representada por el lote individual (n)

P_i = Precio unitario del contrato por unidad de medida.

Ajustes salariales compuestos

La fórmula para el ajuste salarial aplicado a los factores salariales compuestos es la siguiente:

$$PA = (CPF_i - 1)\ (Q_i)\ (P_i)$$

donde:

PA = Ajuste salarial en dólares.

CPF_i = Factor salarial compuesto (en forma decimal) para las Características de Calidad

Q_i = Cantidad representada por cada lote individual (n).

P_i = Precio unitario del contrato por unidad de medida.

Ejemplos de ajustes salariales

Ejemplo 10-L: Utilizando el factor de pago compuesto HMA determinado anteriormente en el Ejemplo 10-K, determine el ajuste salarial compuesto cuando la cantidad total enviada fue de 5000 toneladas y el precio unitario fue de 50$ por tonelada.

Elemento de ajuste salarial	Factor de pago compuesto (%)
HMA	101,8

Ajuste salarial: $PA = (CPF_i - 1)(Q_i)(P_i)$

$PA = (101,8 - 1)(5,000)(50)$

$PA = 0,018)(5,000)(50)$

PA = $4,500,00

Ajuste salarial total de HMA = 4,500

Ejemplo 10-M: Utilizando el factor de pago para la relación agua/materiales cementosos de la siguiente tabla, calcule el ajuste de pago para el elemento indicado. Se colocó un total de 500 yardas cúbicas de hormigón a un precio unitario de 150$ por yarda cúbica.

Características de calidad del PCC	Factor de pago (%)
Relación agua/materiales cementosos	101,0

Ajuste salarial de la relación agua/materiales cementosos:

$PA = (PF_i - 1)(Q_i)(P_i)$

$PA = (1,01 - 1)(500)(150)$

$PA = 0,01(500)(150)$

PA = $750,00

- FIN DEL CAPÍTULO 10 -

CAPÍTULO 11

Escenarios de proyectos de garantía de calidad

Capítulo 11

Escenarios de proyectos de garantía de calidad

Resumen del capítulo

El objetivo de este capítulo es ilustrar y reforzar algunos de los conceptos clave del aseguramiento de la calidad que se han tratado anteriormente en este manual mediante el uso de ***escenarios de proyectos de aseguramiento de la calidad*** individuales que se centran en las principales áreas temáticas. Cada escenario que se ha desarrollado es un relato ficticio basado en experiencias reales de gerentes, técnicos e inspectores que trabajan bajo especificaciones de garantía de calidad en proyectos en toda Nueva Inglaterra. Después de cada escenario hay un grupo de preguntas de opción múltiple destinadas a indicar las correcciones necesarias en el escenario anterior (para proporcionar coherencia con las prácticas estándar de Garantía de Calidad) o a validar las actividades del escenario como coherentes con las prácticas estándar.

Se presentan escenarios para las siguientes áreas temáticas principales:

11.1 - Contenido del plan de control de calidad y requisitos de la norma

11.2 - Responsabilidades de control de calidad

11.3 - Responsabilidades de aceptación

11.4 - Protocolos de muestreo

11.5 - Variabilidad inherente y curva de distribución normal

11.6 - Gráficos de control

11.7 - Correlación y validación de los resultados

11.1 - Contenido y requisitos del plan de control de calidad de los ensayos

Escenario 11-A: Un contratista de pavimentación que trabajaba en un proyecto de repavimentación con QA HMA de control de calidad presentó un plan de control de calidad a la agencia durante la reunión previa a la construcción.
Se distribuyeron copias impresas del plan de QC control de calidad a los asistentes y el contratista realizó una breve presentación oral del plan, repasando cada una de las áreas principales que abordaba el plan de QC. Dado que el contratista de pavimentación subcontrataba la producción del HMA a un tercero, el plan establecía que todo el control de calidad relacionado con la producción correría a cargo del productor, de acuerdo con el plan de QC control de calidad del productor que había sido aprobado previamente para otro proyecto de QC control de calidad, sin embargo, las copias del plan de control de QA calidad del productor no se incluyeron en la presentación del contratista.

El contratista de pavimentación también subcontrató el fresado a un tercero e incluyó una carta de ese subcontratista en la que se indicaba brevemente el calendario de la operación de fresado (fresado de estación a estación y fechas), el mantenimiento y la protección del tráfico durante el fresado, el equipo que se utilizaría para realizar el fresado, dónde y cómo se depositarían los materiales fresados, y que las pendientes y secciones transversales se mantendrían de acuerdo con los planos durante la operación.

Dado que el contratista de pavimentación no contaba con un departamento de QC control de calidad ni empleaba personal cuya única responsabilidad fuera el QC control de calidad, el contratista contrató a un operador de rodillo certificado como inspector de pavimentación a través de una organización certificadora. El plan de QC control de calidad indicaba que el operador de rodillo actuaría tanto como operador como administrador del plan para el contratista, y también se desempeñaría como inspector principal de QC control de calidad durante la construcción, cuando estuviera disponible.

Además, el contratista contrató a una empresa consultora de pruebas para complementar su propio control de QC calidad durante el proyecto. La empresa consultora de pruebas enumeró varias personas certificadas que podrían ser enviadas para trabajar en el proyecto, junto con los currículos de cada una de ellas. Sus responsabilidades, tal y como se indicaba en el Plan de Control de Calidad, consistían en " ayudar al Administrador del Plan en la ejecución del Control de Calidad" . También se incluyó información adicional sobre la extracción de muestras, que se expresaba de la siguiente manera: " las muestras se obtendrán de acuerdo con las frecuencias exigidas por la Agencia y tal y como se establece en las Especificaciones Estándar de la Agencia" .

Tras la presentación del Plan de QC Control de Calidad durante la reunión previa a la construcción, la Agencia declaró que sería necesario realizar nuevas revisiones y modificaciones antes de aceptar el Plan de Control de Calidad. Sin embargo, debido a que el proyecto estaba programado para comenzar la semana siguiente, la Agencia declaró que el Contratista podría comenzar a trabajar sin un Plan de QC Control de Calidad totalmente aprobado.

Basándose en lo que ha aprendido sobre los planes de control de calidad y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál de las siguientes acciones del contratista, en relación con la presentación del plan de QC control de calidad, NO se ajusta a las prácticas estándar descritas anteriormente?
    a) Distribuyó copias del plan de control de calidad a los asistentes a la reunión previa a la construcción.
    b) Hizo una breve presentación oral del plan de control de calidad.
    c) Presentó el plan de QC control de calidad a la agencia en la reunión previa a la construcción.
    d) El contratista hizo todo de acuerdo con las prácticas estándar.

2. Dado que el productor de HMA contaba con un plan de control de calidad previamente aprobado por la Agencia para otro proyecto de garantía de calidad, la Agencia:
    a) debería aceptarlo como pertinente para el proyecto actual
    b) Debería exigir que se volviera a presentar y se revisara para el proyecto actual
    c) No debería exigir que el contratista incluya una copia del plan de control de calidad del productor junto con el plan de control de calidad del contratista
    d) Debería exigir que el contratista sintetice su plan de control de calidad con el plan de control de calidad del productor para crear un único plan de control de calidad modificado

3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones de la carta del subcontratista de molienda es MÁS relevante para la información que se requiere en un plan de control de calidad?
    a) Calendario de la operación de molienda
    b) El tipo de equipo de fresado utilizado
    c) Mantenimiento y protección del tráfico durante el fresado
    d) Dónde y cómo se depositarían los residuos de fresado

4. La carta del subcontratista encargado del fresado también indicaba que «las pendientes y secciones transversales se mantendrán de acuerdo con los planos». ¿Qué información adicional podría ser útil incluir en el plan de control de calidad junto con esta declaración?
    a) Concretamente, CÓMO se llevaría a cabo (equipo, forma de comprobación, frecuencia de comprobación, respuesta a las deficiencias, etc.).
    b) Una copia de los planos a los que se hace referencia o una referencia específica al número de plano
    c) Las personas responsables de realizar esta función
    d) Todo lo anterior.

5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones relativas al operador de rodillos/administrador del plan/inspector jefe de control de calidad es la que MÁS se ajusta a la práctica habitual descrita en este manual del curso?
    a) Bajo ninguna circunstancia la Agencia debe permitir que esto ocurra.
    b) Lo ideal es que estas funciones sean desempeñadas por personas diferentes.
    c) Los trabajadores y operadores nunca deben obtener la certificación de inspectores de control de calidad.
    d) Todas las anteriores

6. Las responsabilidades enumeradas para el personal de la empresa consultora encargada de las pruebas eran " ayudar al administrador del plan en la ejecución del control de calidad" . ¿Cuál de las siguientes afirmaciones caracteriza mejor el impacto de esta afirmación?
    a) El personal de la empresa consultora encargada de las pruebas no tendrá una comprensión clara de sus funciones y responsabilidades durante el proyecto
    b) El administrador del plan deberá supervisar constantemente las acciones del personal de control de calidad.
    c) El personal de la empresa consultora encargada de las pruebas sabrá que el administrador del plan es el responsable del control de calidad.
    d) El personal de la empresa consultora encargada de las pruebas sabrá exactamente cuáles serán sus funciones.

7. La información sobre la extracción de muestras indicaba que estas se obtendrían " de acuerdo con las frecuencias exigidas por la Agencia y tal y como se establece en las especificaciones estándar de la Agencia" . Esta declaración ejemplifica:
    a) Una referencia adecuada a las especificaciones de la Agencia.
    b) Una referencia inadecuada a las especificaciones de la Agencia, ya que nunca deben mencionarse en los planes de control de calidad.
    c) Un detalle innecesario que los planes de control de calidad no suelen tratar.
    d) Una referencia imprecisa que debe completarse con información específica (indicación de la frecuencia, referencia a la sección, párrafo, etc. en las especificaciones de la Agencia).

8. La decisión de la Agencia de continuar con el trabajo a pesar de NO contar con un plan de control de calidad totalmente aprobado puede describirse mejor como:
    a) Prudente
    b) Práctica
    c) Perfecta
    d) Deficiente

Escenario 11-B: Un productor al que se le pidió que redactara un plan de control de calidad como parte de un proyecto de garantía de calidad presentó la siguiente tabla en la que se indicaban las características de calidad sujetas a evaluación estadística, junto con los métodos de muestreo y ensayo aleatorios, las ubicaciones y las frecuencias de muestreo y ensayo de control de calidad.

Característica de calidad	Método de prueba	Tamaño del sublote/Frecuencia de prueba	Tamaño del lote	Punto de muestreo
Contenido de ligante asfáltico	AASHTO T 308	1 muestra por cada 750 toneladas (680 Mg), pero no menos de 1 por día	Hasta 10 000 toneladas (9072 Mg) por JMF	Vehículo de transporte en la planta
Gradación de áridos compuestos (cinta)	AASHTO T 27	1 muestra por cada 750 toneladas (680 Mg), pero no menos de 1 por día	Hasta 10 000 toneladas (9072 Mg) por JMF	Instalación de producción
Huecos de aire in situ(1)	AASHTO T 269 AASHTO T 230 AASHTO T 209 AASHTO T 166	1 muestra por cada 750 toneladas (680 Mg), pero no menos de 1 por día (2)	Hasta 10 000 toneladas (9072 Mg) por JMF	Carretera compactada (3)
Espesor (4)	AASHTO T 269 ASTM D 3549	1 muestra por cada 750 toneladas (680 Mg), pero no menos de 1 por día (2)	Cantidad total de HMA	Carretera compactada (3)
Calidad de rodaje	Según se especifica en las especificaciones estándar 845,35 (E)	0,1 millas de carril (200 m) cada huella de rueda	Cantidad total de HMA	Según lo especificado

(1) Mezcla suelta de planta que se utilizará para determinar los resultados de T 209
(2) Dos núcleos por muestra, dentro de un radio de 2 pies (600 mm)
(3) Excluyendo pavimentos de puentes
(4) Las mediciones se tomarán de núcleos de profundidad completa obtenidos para la determinación de huecos de aire.

Basándose en la información de la tabla anterior y en lo que ha aprendido sobre los planes de control de calidad, responda a las siguientes preguntas:

1. El propósito de incluir dicha tabla en un plan de control de calidad es:
    a) Proporcione un esquema que el personal de control de calidad pueda seguir para poder controlar el proceso de producción.
    b) Proporcionar un esquema de las muestras aleatorias requeridas sujetas a evaluación estadística para que el personal de control de calidad sepa cuándo y cómo tomar las muestras.
    c) Proporcionar un esquema que el personal de aceptación pueda seguir para poder obtener sus muestras de aceptación.
    d) Proporcionar la información necesaria para los inspectores de garantía independientes.

2. El tamaño de lote por JMF para el contenido de Ligante Asfáltico, la Gradación y los Huecos de aire in situ, según la tabla, es:
    a) 750 toneladas (680 Mg)
    b) la cantidad total de JMF
    c) Hasta 10 000 toneladas (9072 Mg)
    d) Ninguna de las anteriores

3. Si una planta HMA produjo 750 toneladas (680 Mg) durante un período de tres días, ¿cuántas muestras aleatorias requeridas para los huecos de aire in situ debería haber obtenido el control de calidad?
    a) 1
    b) 2
    c) 3
    d) 4

4. Si una planta de HMA produjo 2500 toneladas (2268 Mg) durante un período de 3 días en cantidades iguales, ¿cuántas muestras aleatorias como máximo debería haber obtenido el departamento de control de calidad para una sola característica de calidad?
    a) 1
    b) 2
    c) 3
    d) 4

5. ¿Cuáles de las siguientes características de calidad se determinan a partir de la misma muestra de material?
   a. Contenido de asfalto y gradación
   b. Gradación y huecos de aire in situ
   c. Huecos de aire in situ y espesor
   d. Espesor y calidad de conducción

6. ¿Qué tamaño (diámetro) deben tener los núcleos para los huecos de aire in situ?
   a. 12 pulgadas (300 mm)
   b. 24 pulgadas (600 mm)
   c. 36 pulgadas (900 mm)
   d. La tabla no lo especifica

7. ¿Cuántos lotes habrá para la calidad de conducción en este proyecto?
   a) 1
   b) 2
   c) 3
   d) 4

8. Según la tabla, ¿cuál es el tamaño del sub lote para la calidad de conducción?
   a. 750 toneladas (680 Mg)
   b. 10 000 toneladas (9072 Mg)
   c. cada 0,1 millas de carril (200 metros) por huella de rueda
   d. ninguna de las anteriores

11.2 - Responsabilidades de control de calidad

Escenario 11-C: Un técnico de control de calidad de una planta de producción de HMA, entre otras funciones, era responsable de supervisar la temperatura del HMA en las carrocerías de los camiones de transporte antes de enviar el material al lugar del proyecto. Durante la puesta en marcha de la planta, era habitual supervisar la temperatura de los primeros camiones de transporte cargados para comprobar que la mezcla estuviera a la temperatura adecuada. Una mañana, la primera carga comprobada estaba aproximadamente 10 °C (50 °F) por debajo del mínimo requerido. El técnico de control de calidad informó al conductor que esperara en el estante mientras se obtenía otro termómetro en el laboratorio (ya que el técnico quería verificar que el termómetro que se estaba utilizando era correcto). Cuando el técnico de control de calidad regresó, la unidad de transporte anterior ya no estaba en el estante y otra unidad de transporte esperaba en su lugar. Alarmado y confundido, el técnico tomó la temperatura de la segunda carga (preguntándose dónde estaba la primera) y observó que la segunda carga también tenía una temperatura bastante baja. El técnico informó a la segunda unidad de transporte que esperara en la plataforma y volvió al laboratorio para informar al administrador del plan de la situación (y para averiguar dónde estaba la primera carga).

Antes de que el técnico pudiera contestar el teléfono, el operador de la planta se comunicó por radio con el laboratorio y le informó que había rechazado los dos primeros camiones debido a la baja temperatura, y solicitó que el técnico de control de calidad comprobara la temperatura de las siguientes cinco cargas. Los resultados de temperatura de las siguientes cinco cargas indicaron que la mezcla estaba dentro del rango requerido.

Más tarde, el operador de la planta explicó al técnico de control de calidad que podía ver que el material estaba frío por la forma en que caía del silo a los camiones, y posteriormente llamó por radio a ambos conductores para que desecharan sus cargas en la pila de reciclaje. Al mismo tiempo, el operador de la planta aumentó la temperatura dentro del tambor para compensar el

arranque inusualmente frío. La investigación sobre la causa del arranque en frío reveló que el operador no había tenido en cuenta el efecto de las temperaturas más frías durante la noche sobre los áridos almacenados.

Basándose en lo que ha aprendido sobre las responsabilidades del personal de control de calidad y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué se demuestra al obtener la temperatura de las primeras cargas de mezcla de cada día?
    a) Muestreo aleatorio
    b) Muestreo por cuotas
    c) Muestreo por intervalos uniformes
    d) Muestreo selectivo

2. ¿Para qué se utilizó la información sobre la temperatura obtenida cada día en las primeras cargas?
    a) Control de calidad de la producción
    b) Análisis del nivel de calidad
    c) Decisiones de aceptación
    d) Garantía independiente

3. ¿Cuál de las siguientes opciones caracteriza mejor la medida tomada por el operador de la planta al rechazar las cargas?
    a) El control de calidad es responsabilidad de todos, no solo del técnico de control de calidad.
    b) Encubrir sus propios errores
    c) Excederse en las responsabilidades laborales de un operador de planta.
    d) Decisión presuntuosa basada en una observación visual inexacta

4. Suponiendo que se hubieran enviado al trabajo cargas fuera de especificación, ¿cuál de las siguientes situaciones NO podría haber ocurrido?
    a) Los inspectores de aceptación podrían haber rechazado las cargas
    b) Las cargas podrían haberse colocado de todos modos
    c) El fabricante proporcionó material de alta calidad
    d) Los inspectores de control de calidad sobre el terreno podrían haber rechazado las cargas

5. El hecho de que el operador aumentara la temperatura de la mezcla durante la producción es un buen ejemplo de;
    a) La variabilidad de la producción de material
    b) La capacidad de realizar cambios positivos en tiempo real
    c) La insensatez de los límites en la especificación de control de calidad
    d) Una situación extraordinaria resuelta con medidas extremas

6. ¿Cuál de las siguientes opciones es la mejor manera posible de evitar que se repita el mismo error en el proceso?
    a) Despedir al operador de la planta
    b) Despedir al técnico de control de calidad
    c) Anotar las condiciones que causaron el error para futuras referencias
    d) Almacenar el agregado acumulado en recintos calefactados

Escenario 11-D: Un técnico de control de calidad que trabajaba en un proyecto PCC de una agencia utilizando especificaciones de control de calidad obtuvo una muestra selectiva (sin ensayos de resistencia) de una hormigonera con tambor giratorio utilizando procedimientos estándar de muestreo de hormigón (obteniendo al menos dos incrementos de la parte central del lote). Las pruebas de asentamiento y contenido de aire indicaron que el hormigón plástico estaba fuera de los límites de ingeniería para ambas características de calidad. Cuando se completaron los resultados de las pruebas, el camión ya había descargado todo el hormigón en los encofrados. Dado que la muestra se obtuvo solo con fines informativos (es decir, no era una muestra aleatoria de control de calidad requerida), el técnico de control de calidad optó por descartar los resultados.

Basándose en lo que ha aprendido sobre las responsabilidades del personal de control de calidad y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál de los siguientes métodos de muestreo podría utilizarse para obtener una muestra informativa?
    a) Muestreo selectivo
    b) Muestreo aleatorio
    c) Muestreo aleatorio estratificado
    d) Todos los anteriores

2. Cuando se obtiene una muestra selectiva, el muestreador;
    a) Puede modificar el procedimiento de muestreo para acelerar los resultados
    b) Se debe seguir el procedimiento estándar
    c) No es necesario documentar dónde se obtuvo la muestra
    d) A o B, dependiendo de las circunstancias

3. Si la muestra obtenida fuera una muestra aleatoria de control de calidad obligatoria, el muestreador;
    a) Puede modificar el procedimiento de muestreo para acelerar los resultados
    b) Debe seguir el procedimiento estándar
    c) No es necesario documentar dónde se obtuvo la muestra.
    d) A o B, dependiendo de las circunstancias

4. Si, como en el escenario, una muestra selectiva indica que se han superado los límites de ingeniería, el técnico de control de calidad debe;
    a) Dejar su trabajo y convertirse en perito de seguros
    b) Alertar al superintendente de campo y al administrador del plan de control de calidad sobre la situación
    c) Ocultar los resultados de las pruebas a los inspectores de aceptación presentes en el lugar
    d) Detener inmediatamente la colocación y rechazar más material

5. Si la muestra selectiva ha generado resultados dentro de los niveles objetivo y una muestra aleatoria posterior ha generado resultados fuera de los límites de ingeniería;
    a) El técnico de control de calidad debe cambiar los resultados para mejorar el PWL
    b) El técnico de control de calidad debe evitar tomar más muestras selectivas, ya que no son buenos indicadores
    c) El técnico de control de calidad debe desechar la muestra aleatoria y cambiar el número aleatorio para indicar otra ubicación de muestra
    d) Ninguna de las anteriores

6. ¿Cuál de las siguientes situaciones justificaría descartar los resultados de la prueba?
    a) Cuando proceden de muestras no aleatorias
    b) Cuando superan los límites especificados
    c) Cuando se determina que son valores atípicos resultantes de una técnica de prueba deficiente
    d) Los resultados de las pruebas nunca deben descartarse

Escenario 11-E: Un inspector de aceptación de la Agencia llegó a una instalación de producción durante la producción de una mezcla para un proyecto de la Agencia con el fin de supervisar las actividades de control de calidad. Como parte de la supervisión de la Agencia, el inspector de aceptación debía observar el mantenimiento de registros del productor y revisar el libro de registros de control de calidad, o resumen de los resultados de las pruebas de control de calidad, que según las especificaciones de la Agencia (y el plan de control de calidad aprobado por el productor) debía actualizarse en un plazo de 24 horas tras cualquier producción. Cuando el inspector de aceptación pidió ver el libro de registro de control de calidad, se le informó de que este se encontraba en otra planta de producción con el técnico de control de calidad, que se había marchado a la otra planta aproximadamente una hora antes. Se informó al inspector de aceptación de que todas las pruebas de control de calidad requeridas ya se habían realizado en esa planta y que había cumplido con sus responsabilidades. Sin embargo, dado que todos los resultados de las pruebas se habían incluido en el libro de registro de control de calidad, el inspector de aceptación no pudo revisarlos.

Basándose en lo que ha aprendido sobre las responsabilidades del control de calidad y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. Normalmente, los técnicos de control de calidad deben estar presentes en las instalaciones de producción;
    a) Solo hasta que se hayan completado las pruebas requeridas
    b) Durante toda la producción de la mezcla para los proyectos de la Agencia
    c) Siempre que los inspectores de aceptación estén presentes
    d) Para la mayor parte de la producción, sin exceder las ocho horas diarias

2. Normalmente se requiere mantener registros de los resultados de las pruebas de control de calidad obtenidos durante la producción;
    a) En un libro de registros de control de calidad que el técnico de control de calidad debe tener en su poder en todo momento
    b) En un lugar accesible para la Agencia (por ejemplo, la oficina de campo del contratista)
    c) En un libro de registros de control de calidad en las instalaciones de producción
    d) Tanto b como c

3. Un productor que opere múltiples instalaciones debe;
    a) Utilizar un único libro de registro de control de calidad para todas las instalaciones
    b) Utilizar un solo libro de registro de control de calidad para todas las instalaciones, siempre que estas sean del mismo tipo (por ejemplo, plantas de hormigón por lotes, plantas de hormigón en tambor, plantas de hormigón en tránsito, plantas de hormigón centralizadas)
    c) Utilizar un libro de registro de control de calidad independiente para cada instalación de producción
    d) No estar obligado a llevar libros de registro de control de calidad debido a la cantidad de datos que generan varias instalaciones

4. Las declaraciones en los planes de control de calidad relativas a las responsabilidades de control de calidad, incluidas las políticas de mantenimiento de registros;
    a) Se redactan únicamente para cumplir los requisitos de la Agencia y no es necesario ejecutarlas
    b) No deben suponer para el productor ningún esfuerzo adicional más allá de lo que se ha hecho en especificaciones anteriores
    c) Son ajenas al control de calidad del productor y no contribuyen a la mejora del proceso
    d) Ninguna de las anteriores

5. El mantenimiento de registros actualizados de la producción en un libro de registro de control de calidad debe considerarse como;
    a) Una actividad secundaria al muestreo y las pruebas
    b) Una parte integral de la función de control de calidad
    c) Un trámite burocrático para satisfacer a los inspectores de aceptación
    d) Ninguna de las anteriores

6. Teniendo en cuenta que no había ningún técnico de control de calidad presente en la planta durante la producción y que no se disponía de ningún libro de registro de control de calidad para su revisión, el inspector de aceptación podría haber;
    a) Reprimido al productor y aumentar la frecuencia de la supervisión de la agencia sobre el control de calidad
    b) Exigido al productor que entregara inmediatamente el libro de registro de control de calidad para su revisión
    c) Exigido al productor que cesara la producción para los proyectos de la agencia
    d) Todas las anteriores

11.3 - Responsabilidades de aceptación

Escenario 11-F: Un inspector de aceptación de la agencia en un proyecto de garantía de calidad supervisaba la densidad de un relleno estructural seleccionado alrededor de los cimientos de los estribos de un puente utilizando un medidor nuclear (de acuerdo con los requisitos de ensayo de densidad de la agencia). La densidad en las zonas muestreadas aleatoriamente estaba dentro de los límites especificados. Algunas áreas que no habían sido seleccionadas aleatoriamente para la prueba de densidad le parecieron cuestionables al inspector de aceptación, por lo que tomó algunas lecturas de densidad en esas áreas utilizando técnicas de muestreo selectivo y descubrió que estas áreas estaban fuera de los límites especificados, pero dentro de los límites de ingeniería. Basándose en estos hallazgos, informó al inspector de control de calidad del contratista que, si bien las ubicaciones de prueba muestreadas aleatoriamente estaban dentro de los límites especificados, las áreas muestreadas selectivamente no lo estaban. El inspector de control de calidad le informó de que, dado que todas sus pruebas de muestreo aleatorio indicaban que la densidad se encontraba dentro de los límites especificados, el contratista no tomaría ninguna medida correctiva.

Además, el inspector de control de calidad afirmó que las muestras selectivas representaban una forma de muestreo sesgado y no debían utilizarse para dirigir las acciones del contratista. El inspector de la agencia solicitó entonces que las áreas muestreadas selectivamente identificadas mediante su inspección visual se delimitaran por separado del resto del material y que se obtuvieran pruebas adicionales seleccionadas al azar para determinar el alcance de la deficiencia de densidad en esas áreas. A continuación, el inspector de control de calidad ordenó al contratista que realizara una compactación adicional en las áreas identificadas por el inspector de aceptación como deficientes en densidad.

Basándose en lo que ha aprendido sobre las responsabilidades de aceptación y en la información del escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. El inspector de aceptación estaba tomando inicialmente lecturas de densidad en áreas seleccionadas al azar por qué;
   a) Las ubicaciones de las pruebas de aceptación deben seleccionarse al azar
   b) El inspector no estaba seguro de dónde debían colocarse las muestras
   c) El inspector intentaba evitar las áreas deficientes
   d) Las muestras seleccionadas al azar no requieren documentación

2. En lo que respecta al muestreo selectivo del inspector de aceptación de las áreas cuestionables;
   a) El muestreo selectivo nunca está permitido según las especificaciones de control de calidad
   b) El muestreo selectivo está permitido, pero solo cuando el control de calidad está de acuerdo
   c) Se utiliza el muestreo selectivo, pero no en áreas cuestionables
   d) Los inspectores de aceptación pueden tomar muestras de cualquier material en cualquier momento

3. Si las áreas muestreadas selectivamente que estaban fuera de los límites de especificación (pero dentro de los límites de ingeniería) se hubieran muestreado aleatoriamente;
   a) Habrían formado parte de los datos de la QLA y habrían reducido el PWL
   b) No habrían formado parte de la QLA y el PWL no se habría visto afectado.
   c) Habrían formado parte de la QLA y habrían elevado el PWL.
   d) Ninguna de las anteriores

4. Si se hubiera descubierto que las áreas muestreadas selectivamente estaban fuera de los límites de ingeniería;
    a) Entonces, el inspector de aceptación debe detener el trabajo y exigir que se corrija
    b) A continuación, el inspector de aceptación debe informar al departamento de control de calidad de la situación, y este debe detener el trabajo y realizar una evaluación más detallada para determinar las medidas adecuadas
    c) El inspector de aceptación debe indicar al departamento de control de calidad qué hacer para resolver el problema
    d) El departamento de control de calidad debe volver a probar el material

5. El hecho de que el inspector de aceptación informe al inspector de control de calidad de los resultados de la prueba se describe mejor como un ejemplo de;
    a) La aceptación y el control de calidad trabajando juntos
    b) La imposición de la aceptación sobre el control de calidad
    c) La aceptación intenta dirigir las acciones del contratista
    d) Aceptación del desempeño de la función de control de calidad

6. La decisión del control de calidad de no tomar medidas correctivas basándose en los resultados de las muestras selectivas;
    a) Era aceptable teniendo en cuenta que los resultados no superaban los límites técnicos.
    b) Era aceptable, ya que no se permiten muestras selectivas en la determinación de la QLA
    c) Era inaceptable, ya que se permitiría que permanecieran áreas aparentemente deficientes.
    d) Era inaceptable, ya que el control de calidad debe hacer lo que diga el inspector de aceptación

7. La decisión del inspector de aceptación de solicitar la delimitación de las áreas sospechosas con un muestreo aleatorio adicional fue;
    a) Incorrecto, ya que inicialmente no se utilizó el muestreo aleatorio
    b) Incorrecto, ya que las áreas ya se habían identificado como no conformes con los límites especificados
    c) Correcto, ya que las áreas con deficiencias visibles y evidentes deben tratarse por separado y de manera justa con un muestreo aleatorio adicional
    d) Correcto, ya que las muestras adicionales habrían demostrado sin duda alguna que existía una deficiencia

Escenario 11-G: Una especificación de garantía de calidad estipulaba límites de especificación y límites de ingeniería en torno a un valor objetivo. El valor objetivo se estableció analíticamente en un laboratorio mediante un proceso de diseño aprobado. Durante la producción, los resultados de las pruebas indicaron que el valor medio se mantenía constantemente por encima del valor objetivo, cerca del límite superior de la especificación. Un inspector de aceptación de la planta de producción señaló que las especificaciones de la agencia exigían que «el productor fabricara el material en o cerca al valor objetivo establecido en el diseño de la mezcla». Basándose en este entendimiento, y tras revisar los resultados de las pruebas de control de calidad, el inspector de aceptación ordenó al departamento de control de calidad de la planta que implementara cambios específicos en el proceso de producción con el fin de que los resultados volvieran al valor objetivo. El departamento de control de calidad implementó los cambios indicados por el inspector de aceptación, obtuvo una nueva muestra y probó el material, descubriendo que los resultados ahora estaban fuera de los límites de especificación. A continuación, el inspector de aceptación informó al departamento de control de calidad de que, si la siguiente muestra también se encontraba fuera de los límites especificados, la Agencia no permitiría que la planta de producción siguiera suministrando material al proyecto de la Agencia hasta que se demostrara que el departamento de control de calidad tenía la producción «bajo control».

Basándose en lo que ha aprendido sobre las especificaciones de garantía de calidad y la inspección de aceptación, y en la información contenida en el escenario, responda a las siguientes preguntas:

1. Por lo general, es necesario realizar ajustes en el proceso de producción cuando el resultado de una prueba individual indica un valor fuera de los;
    a) Valores objetivo
    b) Límites de especificación
    c) Límites de ingeniería
    d) Ninguno de los anteriores. Los ajustes en el proceso de producción nunca son «necesarios».

2. Por lo general, se espera que el laboratorio determine los valores objetivo del diseño de la mezcla;
    a) Es posible que sea necesario ajustarlos durante la producción a gran escala
    b) Deberán recalcularse por completo durante la producción a gran escala
    c) No será necesario modificarlos en absoluto durante la producción a gran escala
    d) Ninguna de las anteriores

3. ¿Cuál de las siguientes acciones NO realizó el inspector de aceptación en el escenario anterior de acuerdo con las prácticas de garantía de calidad generalmente aceptadas?
    a) Revisó los resultados de las pruebas de control de calidad
    b) Hizo cumplir las especificaciones y políticas de la agencia
    c) Quería ver la producción «bajo control»
    d) Ordenó al control de calidad que implementara cambios específicos en el proceso de producción

4. Si, como en el escenario, varios resultados de las pruebas indicaban valores iguales o cercanos a los límites de las especificaciones;
    a) No se requeriría ninguna acción correctiva a menos que el PWL acumulativo estuviera por debajo de un nivel de calidad de suspensión (SQL) especificado en la especificación de control de calidad
    b) Las medidas correctivas serían necesarias independientemente del PWL acumulativo
    c) Los técnicos de control de calidad deben presionar a la agencia para que se modifiquen los límites especificados
    d) No se deben tomar medidas correctivas a menos que el valor supere los límites de ingeniería

5. El hecho de que las especificaciones de la Agencia exijan «que el productor fabrique material con un valor igual o cercano al valor objetivo establecido a partir del diseño de la mezcla»;
    a) Justifica las medidas del inspector de aceptación que exigen ajustes
    b) Refuerza la aplicación de los límites especificados en torno al objetivo
    c) Es totalmente irrelevante en una especificación de garantía de calidad
    d) Demuestra la insuficiencia de los diseños de mezcla de laboratorio en el mundo real

6. Si dos resultados consecutivos de las pruebas se encuentran fuera de los límites especificados;
    a) Esto indica que el proceso está «fuera de control»
    b) Significa que el PWL caerá por debajo del AQL
    c) Es motivo de preocupación
    d) No es motivo de preocupación

7. Según la información del escenario anterior a los ajustes del proceso, ¿cuál de las siguientes opciones describe mejor la producción?
    a) Completamente bajo control
    b) Potencialmente fuera de control y necesita algunos ajustes
    c) Casi fuera de control
    d) Totalmente fuera de control

11.4 - Protocolos de muestreo

Escenario 11-H: La especificación de control de calidad de una agencia definía el tamaño del lote como una cantidad de agregado colocado que no excediera las 10 000 toneladas (9072 Mg), y el tamaño del sublote como 500 toneladas (454 Mg). La especificación también indicaba que, si al final de un lote quedaba menos de la mitad de un sublote de material, dicho sublote no requeriría pruebas y el lote estaría representado por la información existente. Sin embargo, la especificación establecía que, si quedaba más de la mitad de un sublote de material, el sublote requeriría pruebas y los resultados de las mismas se incluirían en la caracterización del lote.

Después de tres días, la producción y la colocación de todo el lote de áridos NO se había completado. Al final del primer día de trabajo, se habían colocado un total de 1244 toneladas (1129 Mg) de áridos. Basándose en la definición de sublote, el técnico de control de calidad decidió que, dado que al final del día quedaba menos de la mitad de un sublote, el día podía estar representado por solo dos muestras de material. Al día siguiente, se habían colocado un total de 1158 toneladas (1051 Mg) de áridos, que de nuevo se representaron con 2 muestras. El tercer día, se enviaron un total de 1650 toneladas (1497 Mg) y el día se representó con 3 muestras. Al comienzo del cuarto día de colocación de áridos, los inspectores de aceptación llegaron para realizar una visita al lugar y pidieron al técnico de control de calidad que les entregara todas las muestras divididas que representaban cada sublote de los tres primeros días. Cuando el técnico de control de calidad entregó siete muestras a los inspectores de aceptación, estos le preguntaron dónde estaba la octava muestra.

Basándose en lo que ha aprendido sobre los protocolos de muestreo y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. En el escenario anterior, el lote se definió como;
    a) 500 toneladas (454 Mg)
    b) Una cantidad que no excediera las 10 000 toneladas (9072 Mg)
    c) La cantidad total de áridos enviados al lugar de trabajo
    d) Ninguna de las anteriores

2. La disposición de la especificación relativa al muestreo al final de un lote establece que;
    a) Cualquier cantidad superior a la mitad de un sublote requiere una prueba
    b) Cualquier cantidad inferior o igual a la mitad de un sublote no requiere prueba
    c) Cuando no sea necesario obtener una muestra (según el apartado b), se utilizará la información existente
    d) Todo lo anterior

3. Cuando el técnico de control de calidad decidió que no era necesario tomar muestras al final del día, se basó en;
    a) Lo que indicaban las especificaciones que debía hacerse
    b) Un malentendido sobre la definición de lote
    c) Un malentendido sobre la definición de muestra
    d) Ninguna de las anteriores

4. Basándose en la cantidad total de áridos (4052 toneladas (3676 Mg)) enviados al proyecto durante los tres primeros días, ¿cuántas muestras aleatorias (como mínimo) debería haber obtenido el técnico de control de calidad?
    a) 4
    b) 6
    c) 8
    d) 10

5. Supongamos que el primer día el técnico de control de calidad seleccionó las siguientes ubicaciones para las muestras aleatorias: 224 toneladas, 563 toneladas y 1363 toneladas. Dado que no se habría obtenido la última muestra (solo se colocaron 1244 toneladas), ¿qué debería haber hecho el técnico de control de calidad?
    a) Elegir otro número aleatorio al comienzo del día siguiente
    b) Calcular el punto acumulativo en el que se alcanzarían las 1363 toneladas durante la producción del día siguiente y obtener la muestra en ese punto
    c) Obtener una muestra inmediatamente después de que fuera evidente que no se alcanzaría la última muestra aleatoria
    d) El técnico de control de calidad hizo lo que era apropiado y no necesitaba obtener otra muestra

6. Teniendo en cuenta la cantidad total de áridos que se colocó durante el periodo de tres días, ¿cuál es el número máximo de muestras aleatorias que el técnico de control de calidad podría haber obtenido?
    a) 5
    b) 7
    c) 9
    d) 10

Escenario 11-I: Los técnicos de control de calidad estaban realizando un muestreo aleatorio de HMA. En el lugar del muestreo aleatorio, obtuvieron varios incrementos de HMA para formar una muestra de control de calidad. La muestra de material se envió al laboratorio, donde se separaron inmediatamente varias muestras Marshall de la mezcla caliente. Una vez obtenidas las muestras Marshall, se obtuvieron porciones adicionales para realizar pruebas de gravedad específica teórica máxima y extracciones. Dado que la especificación de garantía de calidad exigía que el departamento de control de calidad conservara muestras divididas del material para realizar pruebas adicionales si fuera necesario (por ejemplo, correlación de muestras divididas, resolución de disputas), el departamento de control de calidad colocó la parte restante de HMA en una bolsa etiquetada y la almacenó en el laboratorio. Unos días más tarde, los técnicos de aceptación de la agencia solicitaron la muestra dividida conservada para realizar pruebas de correlación de muestras divididas. Los técnicos de la agencia obtuvieron la muestra dividida conservada y realizaron la misma serie de pruebas que el control de calidad había realizado anteriormente, pero con resultados notablemente diferentes. Basándose en esta información, y preocupados por la posibilidad de que su equipo de pruebas estuviera funcionando mal, los técnicos de aceptación de la agencia decidieron que era necesario volver a realizar las pruebas y sometieron la parte restante de la muestra dividida de HMA a la misma serie de procedimientos de prueba. Las nuevas pruebas confirmaron los resultados iniciales que había generado el equipo la aceptación.

Basándose en lo que ha aprendido sobre los protocolos de muestreo y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. Cuando los técnicos de control de calidad obtuvieron varios incrementos para formar la muestra:
    a) Deberían haber obtenido la muestra en una sola porción
    b) Estaban obteniendo la muestra de manera adecuada
    c) Deberían haber combinado varias muestras para formar la porción de prueba
    d) Deberían haber obtenido una muestra adicional para los inspectores de aceptación

2. ¿Cuál de las siguientes medidas debería haber tomado el departamento de control de calidad con respecto a la conservación de una muestra dividida para posibles pruebas adicionales (por ejemplo, correlación, resolución de disputas)?
    a) Deberían haber dividido la muestra utilizando un método de división adecuado antes de obtener las porciones de ensayo
    b) Deberían haber dividido la muestra utilizando un método de división adecuado después de obtener las muestras Marshall
    c) Deberían haber dividido la porción restante de la muestra después de completar todas sus pruebas
    d) Las medidas tomadas tal y como se describen en el escenario fueron correctas

3. Cuando los resultados de la prueba de aceptación fueron diferentes a los resultados de la prueba de control de calidad, la causa más probable de la diferencia fue;
    a) La porción de prueba de la muestra no fue analizada correctamente por el control de calidad
    b) El técnico de aceptación utilizó un equipo diferente al de control de calidad
    c) La muestra no se dividió correctamente antes de la prueba
    d) La muestra dividida que se sometió a la prueba de aceptación era mucho más antigua que la muestra de control de calidad

4. Basándose en lo que sabían los técnicos de aceptación de la agencia, cuando decidieron volver a analizar la muestra dividida;
    a) Lo que deberían haber hecho era volver a tomar muestras
    b) Volvieron a realizar la prueba con la esperanza de que invalidara sus conclusiones originales
    c) Deberían haber obtenido otra muestra independiente
    d) Estaban siguiendo el procedimiento adecuado

5. ¿Cuál de las siguientes medidas es la adecuada cuando surgen dudas sobre el mal funcionamiento de un equipo de prueba?
    a) Volver a tomar muestras
    b) Volver a realizar las pruebas
    c) Muestreo a intervalos uniformes
    d) Muestreo por cuotas

6. Si los técnicos de aceptación hubieran observado que los técnicos de control de calidad obtenían y dividían el HMA de forma incorrecta, ¿cuál de las siguientes medidas habría sido la adecuada?
    a) Nuevo muestreo
    b) Nueva prueba
    c) Muestreo a intervalos uniformes
    d) Muestreo por cuotas

Escenario 11-J: En un proyecto de garantía de calidad de PCC, se requirió que tanto los inspectores de control de calidad como los de aceptación obtuvieran muestras independientes de PCC. El muestreo y las pruebas de aceptación se realizaron con una frecuencia reducida (33 %) con respecto al muestreo y las pruebas de control de calidad. Si los datos de control de calidad se validaban (mediante una prueba F y una prueba t), se incluían en la determinación de aceptación de la agencia (junto con los datos de aceptación) para caracterizar el lote y determinar el porcentaje dentro de los límites. Durante el proyecto, cuando los inspectores de aceptación estaban presentes en una colocación, los técnicos de control de calidad optaban por tomar muestras de las mismas cargas que habían sido seleccionadas aleatoriamente por los inspectores de aceptación, en lugar de sus propias ubicaciones de muestreo de control de calidad aleatorias determinadas de forma independiente. A continuación, el personal de control de calidad utilizaba los datos generados por estas muestras de control de calidad como parte de su QLA. El personal de control de calidad justificó sus acciones de la siguiente manera: cuando tanto los técnicos de control de calidad como los inspectores de aceptación estaban presentes durante una colocación, era un inconveniente y un retraso para el contratista tener que someterse al doble de la cantidad habitual de muestreo. Además, dado que los inspectores de aceptación habían determinado los lugares de muestreo utilizando un método aleatorio, las muestras de control de calidad también se seleccionaron al azar.

Basándose en lo que ha aprendido sobre los protocolos de muestreo y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. Cuando una especificación de garantía de calidad exige que las muestras de control de calidad y de aceptación se obtengan de forma independiente entre sí, esto significa que:
    a) El personal de control de calidad debe obtener la muestra, dividirla y entregar una parte dividida al personal de aceptación de la agencia para su evaluación independiente
    b) El personal de aceptación debe tomar muestras cada vez que el personal de control de calidad obtenga una muestra
    c) El personal de control de calidad y el personal de aceptación deben tomar muestras en el mismo lugar, pero obtenerlas de forma independiente
    d) Ninguna de las anteriores

2. Según una especificación de garantía de calidad, validación de los datos de las pruebas de control de calidad;
    a) Se produce antes de la producción y la construcción
    b) Se produce durante el primer mes de producción y construcción
    c) Se produce durante y hasta la finalización de la producción y la construcción
    d) Ninguna de las anteriores

3. Si, como sugiere el escenario, el control de calidad utilizara los datos generados a partir de sus muestras de control de calidad no aleatorias que se obtuvieron junto con las muestras de aceptación aleatorias;
    a) Entonces, el PWL estaría sesgado, ya que los datos se duplicarían para esas muestras
    b) Entonces, el PWL sería más preciso, ya que las muestras procedían de la misma población
    c) Entonces, el PWL indicaría con mayor probabilidad una alta calidad
    d) Entonces, el PWL indicaría con mayor probabilidad una baja calidad

4. Las muestras de control de calidad que duplicaban las muestras de aceptación seleccionadas aleatoriamente se describen mejor como;
    a) Muestras aleatorias
    b) Muestras de cuota
    c) Muestras selectivas
    d) Muestras de intervalo

11.5 - Variabilidad inherente y la curva de distribución normal

Escenario 11-K: Antes de la producción de una mezcla de HMA, los técnicos de control de calidad y los técnicos de aceptación realizaron pruebas en muestras divididas de HMA que estaban correlacionadas. Durante la producción del HMA, los técnicos de control de calidad y los técnicos de aceptación obtuvieron muestras independientes según lo requerido para determinar la conformidad con los criterios de contenido de ligante asfáltico. Ambas partes utilizaron el equipo de pruebas del contratista para realizar las pruebas requeridas. La especificación de control de calidad de la agencia enumeraba tanto los límites de especificación como los límites de ingeniería para la característica de calidad del contenido de ligante asfáltico. Durante el transcurso de una semana, los técnicos de control de calidad obtuvieron 10 muestras y los técnicos de aceptación obtuvieron 5 muestras. Tras revisar los resultados, se observó que la media de los resultados de las pruebas de aceptación era un 0,5 % superior en contenido de ligante que las muestras de control de calidad. Otras comparaciones indicaron que los resultados de las pruebas realizadas el mismo día (control de calidad frente a aceptación) mostraban algunas diferencias mayores de lo esperado (hasta un 1 % en el contenido de ligante asfáltico). En general, todas las muestras (de control de calidad y de aceptación) indicaron resultados dentro de los límites de ingeniería, sin embargo, casi la mitad de todas las muestras (de control de calidad y de aceptación) estaban fuera de los límites de especificación. Basándose en la información y las observaciones del alto grado de variabilidad entre las pruebas (aceptación y control de calidad), la agencia emitió un informe de no conformidad al contratista. El personal de control de calidad del contratista respondió cuestionando las credenciales del técnico de aceptación que realizó las pruebas de aceptación.

Basándose en lo que ha aprendido sobre la variabilidad inherente y la curva de distribución normal, y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. ¿El escenario sugiere una frecuencia de muestreo de aceptación en qué porcentaje de las muestras de control de calidad?
    a) 25%
    b) 50%
    c) 75%
    d) 100%

2. El hecho de que (en promedio) los resultados del contenido de ligante asfáltico de las muestras de aceptación fueran aproximadamente un 0,5 % superiores a los resultados del contenido de ligante de las muestras de control de calidad sugiere;
    a) Que hubo variabilidad en los procedimientos de muestreo utilizados
    b) Que hubo variabilidad en los procedimientos de ensayo utilizados
    c) Que hubo variabilidad en los equipos de ensayo utilizados
    d) Absolutamente nada más allá del hecho de que los resultados fueron un 0,5 % más altos en promedio

3. El hecho de que hubiera una diferencia significativa en el contenido de ligante asfáltico en muestras obtenidas el mismo día sugiere;
    a) Que hubo variabilidad en los procedimientos de muestreo utilizados
    b) Que hubo variabilidad en los procedimientos de ensayo utilizados
    c) Que hubo variabilidad en el equipo de ensayo utilizado
    d) Absolutamente nada más allá del hecho de que hubo una diferencia significativa en los resultados del contenido de ligante asfáltico

4. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor la razón para comparar los resultados de las pruebas diarias entre sí?
    a) Proporciona una medida de comparación estadísticamente sólida
    b) Se basa en la idea errónea de que los resultados de las pruebas individuales son significativos cuando se comparan entre sí de forma individual
    c) Representa el análisis diario de cómo va el proceso de producción
    d) Es información útil para trazar un gráfico de control estadístico

5. ¿Cuál de las siguientes opciones es la más probable si se tiene en cuenta que casi la mitad de los resultados de las pruebas estaban fuera de los límites especificados?
    a) El muestreo y las pruebas se realizaron de forma incorrecta
    b) La producción del HMA fue constante
    c) El PWL resultante será inferior a 100
    d) El contratista podría esperar recibir un pago incentivador

6. ¿Qué tipo de información pueden proporcionar los muestreos y pruebas independientes que realizan tanto los técnicos de control de calidad como los técnicos de aceptación en este escenario?
    a) Datos para la QLA y la validación
    b) Datos para la validación y la correlación
    c) Datos para la correlación y la garantía independiente
    d) Los factores de ponderación utilizados para los ajustes salariales

7. Si la población representada por el muestreo y las pruebas del escenario tuviera una distribución normal, el hecho de que la mitad de las muestras estuvieran fuera de los límites de especificación
    a) Indicaría una distribución normal bimodal.
    b) Indicaría un alto nivel de variabilidad en los resultados de la muestra estadística.
    c) Indicaría que la mitad de las muestras superaban en más de 3 desviaciones estándar el objetivo.
    d) Indicaría qué es necesario reajustar los límites de especificación.

8. La medida adoptada por la Agencia de emitir un informe de no conformidad basado en la variabilidad de las pruebas individuales (entre el control de calidad y la aceptación);
    a) Fue una respuesta correcta a la variabilidad observada
    b) Fue incorrecta, ya que las muestras individuales obtenidas de forma independiente no son directamente comparables
    c) Era una respuesta correcta, ya que su objetivo era limitar la variabilidad futura.
    d) Era incorrecta, ya que los resultados de las pruebas de control de calidad y los resultados de las pruebas de aceptación nunca deben compararse entre sí.

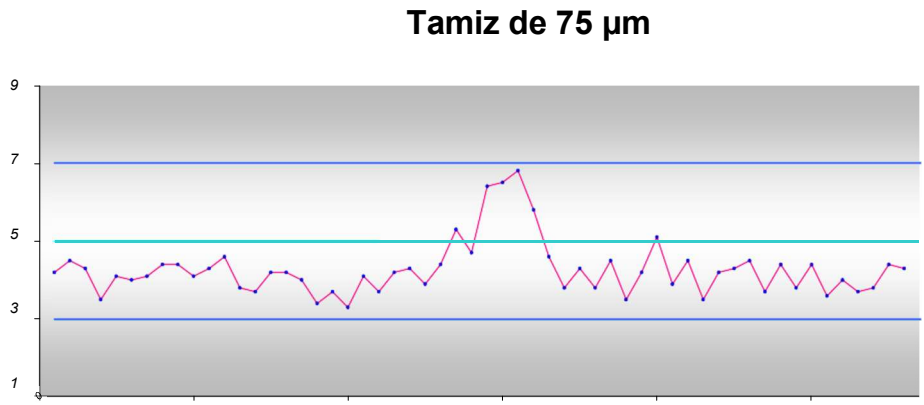
9. Según la información contenida en el escenario,
    a) El personal de control de calidad tenía motivos fundados para cuestionar las credenciales del técnico de aceptación.
    b) El técnico de aceptación debería haber cuestionado las credenciales del técnico de control de calidad.
    c) No había datos reales que sugirieran que los técnicos de control de calidad o de aceptación no tuvieran las credenciales adecuadas.
    d) Era evidente que tanto los técnicos de aceptación como los de control de calidad estaban realizando el procedimiento correctamente.

10. Suponiendo que tanto los técnicos de control de calidad como los de aceptación tomaron muestras y analizaron el material correctamente, la fuente de la variabilidad podría deberse a:
    a) Variabilidad del material
    b) Variabilidad de la construcción (es decir, producción y colocación).
    c) Variabilidad por causas fortuitas
    d) Todo lo anterior
    e) Ninguna de las anteriores

11.6 - Gráficos de control

Escenario 11-L: Se adjudicó un proyecto con las especificaciones de garantía de calidad de la agencia, que exigían al productor proporcionar gráficos de control para varias características de calidad específicas. Dado que la especificación no indicaba el tipo de gráfico de control que debía proporcionarse y el productor no tenía experiencia previa en el uso de gráficos de control, este utilizó un gráfico de ejecución para trazar los resultados de las pruebas individuales en función de los límites de la especificación. Cada vez que un resultado de la prueba se salía de los límites especificados, el productor se ponía nervioso y empezaba a introducir cambios en el proceso de producción. Los cambios que introducía el productor parecían tener un efecto positivo, ya que a menudo el resultado de la siguiente prueba se situaba dentro de los límites especificados. A lo largo del proyecto, el productor se olvidó de los gráficos de control y pasaron semanas sin que se representaran datos. Una mañana, el productor se acordó de los gráficos de control y, presa del pánico, rellenó los datos de tres semanas. El inspector de aceptación solía quedar impresionado con el aspecto de los gráficos de control. Al final del proyecto, el productor entregó todos los gráficos de control al inspector de aceptación. El productor no tenía intención de volver a utilizar los gráficos de control a menos que otro proyecto de control de calidad los requiriera.

Basándose en lo que ha aprendido sobre el uso de los gráficos de control y en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:



1. Los mejores tipos de gráficos de control que se pueden utilizar para discernir los cambios en los procesos que se deben a causas distintas del azar son:
    a) Gráficos de ejecución
    b) Gráficos de barras
    c) Gráficos X-Bar y gráficos R
    d) Ninguno de los anteriores

2. Trazar los resultados de las pruebas individuales en función de los límites de especificación.
    a) Es una buena forma de saber cuándo ha cambiado la media del proceso
    b) Es una buena forma de saber cuándo ha cambiado la variabilidad del proceso
    c) Es una buena forma de identificar las causas asignables que actúan sobre el proceso
    d) Ninguna de las anteriores

3. Cuando el productor realizó cambios en su proceso de producción basándose en los gráficos de control que utilizaba,
    a) estaba mejorando la calidad de su producto.
    b) Mantenía la calidad en el nivel requerido.
    c) Estaba evitando futuros incumplimientos.
    d) Ninguna de las anteriores

4. Los cambios que realizó el productor parecieron tener un efecto positivo debido a:
    a) El hecho de que sus cambios fueran adecuados
    b) La coincidencia y el azar
    c) El hecho de que sus gráficos de control tuvieran los límites demasiado amplios
    d) Ninguna de las anteriores

5. El trazado de resultados en gráficos de control tiene como objetivo:
    a) Ayudar al productor a comprender su proceso de producción
    b) Proporcionar datos históricos para ajustes posteriores de los límites
    c) Permitir al productor mejorar la calidad de su producto
    d) Todas las anteriores

6. ¿Con qué frecuencia deben actualizarse los gráficos de control para que sean útiles?
    a) Con la misma frecuencia con la que se generan los datos
    b) Solo cuando se realizan ajustes en el proceso
    c) Antes de las visitas del inspector de aceptación
    d) Cada 3 semanas

7. Los gráficos de control que trazan subgrupos de datos se utilizan mejor para
    a) Proporcionar un registro visual de los resultados de las muestras.
    b) Ayudar a identificar las causas asignables que actúan sobre el proceso
    c) Variabilidad aleatoria de la causa
    d) Cumplir los requisitos de las especificaciones

8. ¿Quién se beneficia más del uso correcto de los gráficos de control adecuados?
    a) Agencia
    b) Contratista (por ejemplo, contratista principal, subcontratista, productor)
    c) Empresa de pruebas
    d) Arquitecto

9. Utilizar los gráficos de control solo cuando lo exijan las especificaciones, y no como parte habitual de la operación de producción.
    a) Es prudente, ya que los gráficos de control restan tiempo para otras cuestiones.
    b) Es indicativo de la falta de comprensión sobre el uso de los gráficos de control
    c) Es un requisito de las especificaciones de la agencia.
    d) Es lo contrario de lo que suele ocurrir.

Escenario 11-M: El personal de control de calidad de un productor comenzó a utilizar gráficos X-bar y gráficos R para supervisar la producción al inicio de la temporada de producción. El gráfico X-bar representaba la media general de un subgrupo de resultados de pruebas (4 muestras/subgrupo). El gráfico R representaba el rango medio de cada subgrupo. Los límites del gráfico de control se establecieron tras aproximadamente un mes de recopilación de datos. Las muestras utilizadas para generar estos datos se obtuvieron de forma aleatoria. Tras otras pocas semanas de recopilación de datos, se produjo un salto repentino en el gráfico R.
El personal de control de calidad investigó el proceso de producción y descubrió que un componente de la instalación se había desgastado mucho más allá de la tolerancia permitida. Se sustituyó el componente y los datos posteriores del gráfico R se representaron dentro de los límites de control establecidos. El productor siguió utilizando los gráficos de control como herramienta para ayudar a identificar cuándo se producían cambios en el proceso. Más adelante, durante la temporada de construcción, se le adjudicó un proyecto de control de calidad. Gracias al estricto control de calidad y a la producción constante, el productor obtuvo una bonificación del 3 % sobre todo el material suministrado al proyecto.

Basándose en lo que ha aprendido sobre el uso de los gráficos de control y en la información contenida en el escenario anterior, responda a las siguientes preguntas:

1. El uso de gráficos de control que trazan subgrupos de datos para toda la temporada de producción
    a) Es una buena forma de obtener un mayor control sobre el proceso de producción
    b) Probablemente sea excesivo.
    c) Es perjudicial para las actividades de control de calidad.
    d) Ninguna de las anteriores

2. Se deben establecer límites para los gráficos de control que trazan subgrupos de datos.
    a) Inmediatamente antes de cualquier recopilación de datos
    b) Una vez que se han recopilado suficientes datos aleatorios para caracterizar la población
    c) Una sola vez y sin reajustes ni reconsideraciones posteriores
    d) Basado en los límites de especificación de la especificación de control de calidad

3. Los gráficos de control que trazan subgrupos de datos son útiles porque:
    a) Identifican la causa del cambio en el proceso
    b) Identifican cuándo se está produciendo un cambio en el proceso
    c) Controlan el proceso de producción
    d) Todas las anteriores

4. ¿Cuál de las siguientes indicaciones del gráfico de control es la más probable que sea el resultado de una causa asignable?
    a) Movimiento de la barra X desde debajo de la línea central hasta encima de la línea central
    b) Series extremas en el gráfico X-Bar
    c) Gráfico R fuera de los límites
    d) Todas las anteriores

5. El hecho de que el productor utilizara gráficos de control existentes que trazan subgrupos de datos para el proyecto de control de calidad.
    a) Fue un error, ya que se deberían haber desarrollado nuevos gráficos de control para ese proyecto.
    b) Era correcto, ya que se necesitan buenos datos históricos para establecer los parámetros de control adecuados para una planta de producción.
    c) Era incorrecto, ya que la Agencia espera gráficos de ejecución, no gráficos de control que trazan subgrupos de datos.
    d) Era correcto, ya que era lo más fácil de hacer en ese momento.

6. El hecho de que el material producido obtuviera un incentivo en el proyecto de control de calidad.
    a) Fue totalmente resultado del uso de gráficos de control.
    b) Podría atribuirse en parte al uso de gráficos de control.
    c) Tuvo poco o nada que ver con el uso de gráficos de control
    d) Fue un milagro, teniendo en cuenta que se utilizaron gráficos de control

11.7 - Correlación de muestras divididas y validación de los resultados de las pruebas

Escenario 11-N: La especificación de control de calidad de la agencia para un proyecto PCC estipulaba que los resultados de las pruebas de control de calidad del contratista debían incluirse en la determinación de aceptación de la agencia, siempre y cuando los resultados de control de calidad del contratista estuvieran validados. Las muestras de aceptación y control de calidad se obtuvieron de forma aleatoria e independiente entre sí. Cuando se analizaron los datos de control de calidad y aceptación se observó que había diferencias en los resultados. La agencia consultó las declaraciones AASHTO D2S para conocer las diferencias permitidas en los resultados (multilaboratorio) y descubrió que muchos de los resultados de aceptación y control de calidad superaban las diferencias permitidas. A continuación, la agencia realizó una comparación mediante pruebas F y t utilizando divisiones de muestras de control de calidad conservadas con el fin de correlacionar los resultados. La comparación de la prueba F y la prueba t indicó que los resultados podrían provenir de la misma población. Sin embargo, la Agencia seguía preocupada por las diferencias en los resultados observadas anteriormente. Como resultado, la Agencia decidió no incluir los datos de control de calidad como parte del análisis del nivel de calidad para la determinación de la aceptación.

Basándose en lo que ha aprendido sobre la correlación de muestras divididas y la validación de los resultados de las pruebas de control de calidad y aceptación, responda a las siguientes preguntas:

1. Cuando la especificación de la agencia exigía que se validaran los resultados del contratista, la validación debería haberse realizado sobre:
    a) Muestras divididas
    b) Muestras independientes
    c) Muestras selectivas no aleatorias
    d) Solo las muestras de control de calidad, no las muestras de aceptación

2. ¿Cuál de los siguientes elementos presentados en el escenario se llevó a cabo de forma incorrecta según las prácticas estándar de control de calidad?
    a) Muestreo aleatorio
    b) El uso de declaraciones D2S para comparar múltiples muestras obtenidas de forma independiente
    c) La necesidad de validar los resultados del contratista al incluirlos en el QLA
    d) El uso de declaraciones D2S de múltiples laboratorios en lugar de declaraciones D2S de un solo operador

3. Cuando se utilizan declaraciones D2S para comparar los resultados de las pruebas, la comparación debería haberse realizado sobre:
    a) Una muestra dividida del mismo material
    b) Muestras independientes
    c) Muestras selectivas no aleatorias
    d) Solo las muestras de control de calidad, no las muestras de aceptación

4. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta al considerar lo que ocurrió en el escenario?
    a) La validación se realizó correctamente, la correlación de muestras divididas no se realizó correctamente
    b) La validación se realizó incorrectamente, la correlación de muestras divididas se realizó correctamente
    c) La validación y la correlación de muestras divididas se realizaron correctamente
    d) Ni la validación ni la correlación de muestras divididas se realizaron correctamente

5. Aunque la Agencia realizó la prueba F y la prueba t en muestras divididas, debería haber realizado la prueba F y la prueba t en:
    a) Muestras no aleatorias
    b) Muestras aleatorias obtenidas de forma independiente
    c) La misma muestra exacta
    d) La Agencia actuó correctamente al utilizar muestras divididas para la prueba F y la prueba t.

6. La Agencia optó por utilizar las declaraciones AASHTO D2S para comparar los resultados de las pruebas. Otra herramienta más potente que la Agencia podría haber utilizado para las múltiples muestras divididas es:
    a) La prueba F y la prueba t
    b) La prueba F
    c) La prueba t pareada
    d) Análisis del nivel de calidad

7. Según la información del escenario, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?
    a) Los resultados de la prueba de control de calidad podrían haberse incluido en el informe de calidad de la agencia si los procedimientos de correlación y validación de muestras divididas se hubieran llevado a cabo correctamente.
    b) Los resultados de las pruebas de control de calidad no deberían haberse incluido en el informe de calidad de la agencia, a pesar de que los procedimientos se ejecutaron de forma incorrecta.
    c) Los resultados de la prueba de control de calidad no deberían haberse incluido en el informe de calidad de la agencia, ya que los procedimientos se llevaron a cabo correctamente.
    d) Los resultados de la prueba de control de calidad deberían haberse incluido, ya que la comparación de la prueba F y la prueba t en los pares divididos indicó que las muestras podrían provenir de la misma población.

8. Lo ideal habría sido que se hubiera producido una correlación de muestras divididas de los resultados de las pruebas en el escenario.
    a) Antes de la producción
    b) Una vez finalizada la producción.
    c) Antes y durante la producción, según sea necesario.
    d) La correlación de muestras divididas no es necesaria si se ha realizado la validación.

- FIN DEL CAPÍTULO 11 -

APÉNDICE A

Glosario de términos

Apéndice A

Glosario de términos

Resumen del apéndice

Este ***glosario de términos*** incluye definiciones de muchos de los diversos términos aplicables al control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte. Existen diferentes versiones de las definiciones de muchos de estos términos, tal y como se recogen en los documentos de referencia de varias organizaciones, entre las que se incluyen:

- AASHTO
- ASTM
- Sociedad Americana para la Calidad (ASQ)
- FHWA
- Junta de Investigación del Transporte (TRB)

Con el fin de alcanzar un consenso nacional sobre los términos y definiciones de garantía de calidad para la construcción de infraestructuras de transporte, un equipo nacional de revisión por pares en representación del Consejo de Coordinación de Planes de Estudios de Transporte (TCCC) llevó a cabo una revisión exhaustiva de este glosario en 2004. Los términos y definiciones incluidos en el apéndice A (así como los presentados en los capítulos de este manual de referencia) se han actualizado para reflejar los comentarios del NETTCP y del equipo de revisión por pares del TCCC.
En consecuencia, este glosario de términos incluye todos los términos y definiciones acordados por el NETTCP y el TCCC. Muchos de estos términos y definiciones actualizados se han incorporado a la actualización de 2006 de la norma R 10 de la AASHTO (*Definición de términos relacionados con la calidad y las estadísticas utilizados en la construcción de carreteras*). En esta edición del glosario también se han añadido algunos términos y definiciones nuevos proporcionados por el NETTCP.

Nivel de calidad aceptable (AQL)

El nivel mínimo de calidad real establecido para una característica de calidad que se considera totalmente aceptable cuando se utiliza una medida de calidad concreta. [Por ejemplo, cuando la medida de calidad utilizada es el porcentaje dentro de los límites (PWL), el AQL es el PWL establecido (no estimado) en el que la característica de calidad es totalmente aceptable. Los planes de aceptación deben diseñarse de manera que el material AQL reciba una remuneración esperada (EP) del 100 %].

Aceptación

Todos los factores utilizados por la Agencia (es decir, muestreo, pruebas e inspección) para evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos del contrato y determinar el valor correspondiente a un producto determinado.

Límite de aceptación

En los planes de aceptación variables, el valor límite superior o inferior, establecido en una medida de calidad, que permitirá la aceptación de un lote. [Mientras que los valores de prueba de las muestras de material se evalúan con los límites de especificación y los límites de ingeniería, el nivel de calidad calculado para una medida de calidad específica se evalúa en función del límite de aceptación. Por ejemplo, el PWL mínimo permitido indicado en una especificación de control de calidad podría ser 65PWL. Este es el límite de aceptación].

Plan de aceptación

También denominado plan de muestreo de aceptación o plan de aceptación estadístico. Proceso acordado para evaluar la aceptabilidad de un lote de material. Incluye: tamaño del lote y tamaño de la muestra (es decir, muestra estadística), medidas de calidad, límites de aceptación, evaluación de riesgos y disposiciones de ajuste salarial.

Muestreo y pruebas de aceptación	También denominado *«muestreo y ensayo de verificación»*. Muestreo y ensayo realizados por la Agencia, o su agente designado, para medir la calidad del producto final.
Laboratorios acreditados	Laboratorios reconocidos por un organismo de acreditación oficial organismo de acreditación que cumple los requisitos del sistema de calidad, incluida la competencia demostrada para realizar procedimientos de ensayo estándar.
Precisión	Grado en que una medición, o la media de una distribución de mediciones, tiende a coincidir con la media real de la población.
Agencia	Cualquier organización, constituida en virtud de las leyes federales, estatales o municipales, que se encargue de administrar los contratos de construcción de carreteras o transporte.
Error alfa (α)	(Véase Riesgo del vendedor).
Causa asignable	Fuente de variación, normalmente debida a un error o proceso. cambio, que puede detectarse mediante métodos estadísticos y corregirse dentro de límites económicos. [Cuando se identifican y eliminan las causas asignables, el proceso de producción está “bajo control”.]

Atributo

Característica que, por su presencia o ausencia, clasifica un artículo como conforme o no conforme. [Los atributos de inspección deben seleccionarse de manera que estén directamente relacionados con uno de los cuatro componentes de la inspección (es decir, el equipo, las condiciones ambientales, los materiales y la mano de obra del producto). Los atributos de inspección utilizados para el control de calidad deben estar directamente relacionados con el mantenimiento del control de los procesos de producción y colocación, a fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos de cada elemento del trabajo. Los atributos de inspección para la aceptación deben estar directamente relacionados con el rendimiento del producto a largo plazo].

Media

(Véase Media)

Lote

Cantidad específica de material producido mediante una operación o proceso uniforme.

Error beta (β)

(Véase Riesgo del comprador)

Sesgo

Error, constante en su dirección, que hace que una medición, o la media de una distribución de mediciones, se desvíe de la media real de la población.

Muestreo sesgado

Procedimiento de muestreo en el que las muestras obtenidas de un lote no tienen la misma probabilidad de ser elegidas. [Los enfoques sesgados convencionales de muestreo que han sido utilizados por agencias y contratistas incluyen: muestreo representativo, muestreo por intervalos uniformes, muestreo por cuotas y muestreo selectivo].

Comprador

La agencia o entidad similar responsable de la aceptación y compra de los materiales y trabajos necesarios para la finalización de un contrato de autopistas o transporte.

Riesgo del comprador (β)

También denominado *riesgo de la agencia*, *error beta (β)* o *tipo II* . Es el riesgo que corre la agencia al aceptar materiales o mano de obra que no cumplen con el nivel de calidad aceptable (RQL). [En el caso de un plan de aceptación/rechazo, es la probabilidad de que un plan de aceptación acepte erróneamente materiales o mano de obra que no cumplen con el RQL con respecto a una sola característica de calidad de aceptación. Para los planes de aceptación variables, es equivalente a β_{PF}, donde PF=100. Es la probabilidad de que un plan de aceptación de pago variable acepte erróneamente en su totalidad material o mano de obra RQL con un pago del 100 % o superior con respecto a una única característica de calidad de aceptación].

Teorema del límite central

Teorema que establece que, dada cualquier Población con media (μ**)** y varianza (σ^2), si el tamaño de la muestra (n) aumenta sin límite, la distribución de las medias muestrales se aproxima a una distribución normal con la media (μ**)** y la varianza (σ^2). [Gracias a este teorema, se pueden extraer inferencias estadísticas sobre cualquier población basándose en la media muestral ($\bar{x}$) y la desviación estándar ($\sigma_{\bar{x}}$). Incluso si la forma de una población no es normal, las medias de los grupos muestrales extraídos de la población se acercarán a una distribución normal a medida que aumente el tamaño de los grupos muestrales.

Tendencia central	La tendencia de los valores de los datos a agruparse cerca del centro de la distribución. Se puede considerar como el valor único que se puede utilizar para representar todos los valores de un conjunto de observaciones.
Personal certificado	Personal reconocido por un organismo de certificación oficial como cualificado para realizar muestreos, pruebas, inspecciones o procedimientos relacionados.
Causa fortuita	Fuente de variación inherente a cualquier proceso de producción y que no puede eliminarse, ya que se debe a causas aleatorias y previsibles.
Clase	Un grupo de valores de datos (mediciones, observaciones o valores de prueba) que satisfacen un conjunto determinado de condiciones asociadas con una distribución de frecuencias.
Frecuencia de clase	El número de valores de datos que entran en una clase concreta clase.
Intervalos de clase	La diferencia de valor entre los límites inferior y superior de una clase determinada.
Límites de clase	Los valores máximos y mínimos que definen una clase determinada.
Punto medio de la clase	El valor central de una clase concreta.
Coeficiente de variación (v)	La relación entre la desviación estándar y la media, expresada como porcentaje. Proporciona una medida de la dispersión o distribución relativa a la media.

Factor de remuneración compuesto Factor de multiplicación, a menudo expresado como un porcentaje que tiene en cuenta dos o más características de calidad y se utiliza para determinar el pago final del contratista por una unidad de trabajo.

Conformidad Indicación o juicio afirmativo de que un producto o proceso cumple con los requisitos especificados.

Medida de conformidad Método utilizado para evaluar los resultados de la inspección con el fin de determinar el grado de conformidad del producto con los requisitos de calidad. [La medida de conformidad utilizada puede ser muy simple y cualitativa o puede utilizar un enfoque numérico o cuantitativo. Las medidas de conformidad típicas aplicadas incluyen: aprobado/reprobado, porcentaje de conformidad y puntuación numérica].

Variabilidad de la construcción Variabilidad que es el resultado de la variación inherente en los métodos de producción y las operaciones de construcción.

Contratista Todas las partes contratadas que participan en la construcción de un proyecto individual, incluyendo: el contratista principal (general), los subcontratistas y todos los productores, fabricantes y fabricantes que suministran materiales de construcción para el proyecto.

Gráfico de control También llamado *gráfico de control estadístico*. Un gráfico de mediciones de control de calidad o valores de prueba que se utiliza para identificar variaciones en un proceso de producción o colocación debidas a causas aleatorias o causas asignables.

Límites del gráfico de control También denominados *límites de acción*. Límites derivados estadísticamente que se aplican a un gráfico de control para controlar la producción o la colocación de materiales. [Los límites del gráfico de control se expresan como el límite de control superior (UCL) y el límite de control inferior (LCL). Cuando los valores de las características del material se encuentran dentro de estos límites, el proceso está «bajo control». Cuando los valores se encuentran fuera de los límites, hay indicios de que existe alguna causa asignable que hace que el proceso esté “fuera de control”.]

Condiciones controladas Consistencia o uniformidad en los métodos de producción, colocación, muestreo, inspección y ensayo de los materiales.

Proceso controlado Proceso de producción o colocación en el que la media y la variabilidad de una serie de pruebas realizadas en el producto se mantienen estables, siendo la variabilidad debida únicamente a causas fortuitas.

Criticidad Clasificación de los requisitos contractuales según el grado en que afectan a la seguridad, el rendimiento o el coste del ciclo de vida.

Histograma o polígono de frecuencia acumulativa Histograma o polígono de frecuencia construido sumando el número total de ocurrencias de valores menores o iguales a un valor designado.

Datos Mediciones o valores de prueba organizados para su cálculo o análisis.

Desviación (de la media) La diferencia entre un valor individual y la media de un conjunto de valores medidos o probados.

Límites D2S

La diferencia máxima aceptable entre dos valores de ensayo obtenidos para dos muestras (o porciones de ensayo) de la misma muestra de material. [La diferencia entre los dos resultados sería igual o superior a largo plazo en solo uno de cada veinte casos en el funcionamiento normal y correcto del método de ensayo].

Desincentivo

Una disminución preestablecida en el pago al contratista que se aplica a un elemento de la oferta del contrato cuyo nivel de calidad de los materiales y mano de obra, determinado por medios estadísticos, no cumple con el nivel de calidad aceptable (AQL) especificado. El desincentivo se expresa normalmente como un porcentaje del precio original de la oferta del contrato.

Dispersión

El grado en que los valores de los datos se dispersan alrededor de un valor objetivo o central.

Resolución de disputas

Procedimiento utilizado para resolver conflictos derivados de las discrepancias entre los resultados de la Agencia y los del Contratista que son lo suficientemente importantes como para afectar al pago.

Especificaciones del resultado final

Especificaciones que exigen al contratista asumir toda la responsabilidad de producir y colocar un producto. La responsabilidad de la Agencia es aceptar o rechazar el producto final o aplicar un ajuste salarial acorde con el grado de cumplimiento de las especificaciones.

Límites de ingeniería

Valor(es) límite absoluto(s) establecido(s) para una característica de calidad, más allá del cual el resultado de la prueba de una muestra individual se considera inaceptable. [Los límites de ingeniería se establecen para identificar los materiales que no proporcionan las propiedades mínimas de ingeniería requeridas. Suelen tener un límite de ingeniería superior (UEL), un límite de ingeniería inferior (LEL) o ambos. Los límites de ingeniería pueden ser los mismos que los límites de especificación].

Curva de remuneración esperada (EP)

Representación gráfica de un plan de aceptación que muestra la relación entre la calidad real establecida de un lote y su pago esperado.

Fabricante

Empresa que produce materiales estructurales prefabricados (por ejemplo, elementos estructurales de hormigón prefabricado/pretensado, acero estructural prefabricado) para el contratista principal o un subcontratista.

Prueba F

Prueba de hipótesis que consiste en la comparación de las varianzas de dos conjuntos de datos obtenidos de forma independiente. La hipótesis que se prueba es que la varianza de una población es igual a la varianza de otra población. [La prueba F se utiliza en el procedimiento de validación para determinar si se deben utilizar las varianzas individuales o las varianzas agrupadas al realizar la prueba-t independiente].

Materiales estructurales fabricados	Elementos estructurales importantes producidos específicamente para un proyecto de construcción individual por un fabricante de materiales. [Por lo general, se caracterizan por una o varias de las siguientes condiciones: a) el proceso de producción del material se lleva a cabo en condiciones controladas en una planta de fabricación establecida, normalmente situada dentro del estado o en otro estado; b) las propiedades del material son estables y no hay posibilidad de que se alteren si se transportan adecuadamente desde la fábrica hasta el lugar del proyecto; c) los materiales llegan al lugar del proyecto en estado sólido y requieren poco o ningún trabajo adicional después de su instalación].
Frecuencia	El número de elementos o valores que se producen dentro de un intervalo determinado (o clase).
Distribución de frecuencias	Agrupación de valores de datos en intervalos (o clases) que muestra el número de valores en cada intervalo.
Histograma de frecuencias	También llamado *histograma*. Tipo de gráfico de barras que representa la frecuencia de aparición de cada valor de datos como un rectángulo (o barra). La anchura de cada rectángulo representa el intervalo de datos, mientras que la altura representa el número de valores de datos en el intervalo (o clase).
Polígono de frecuencia	Gráfico de líneas discontinuas construido trazando líneas Segmentos que unen los puntos medios de la parte superior de cada rectángulo (o barra) en un histograma de frecuencia

Tabla de frecuencias	Una presentación tabular de datos que consta de un mínimo de dos columnas. Una columna presenta los intervalos de datos (o clases) en un orden útil y la otra columna presenta las frecuencias correspondientes.
Media general	La suma de las medias de los conjuntos o subgrupos de datos dividida por el número total de conjuntos o subgrupos.
Histograma	(Véase Histograma de frecuencias)
Hipótesis	Teoría o suposición provisional adoptada para explicar ciertos hechos y orientar la investigación de otros. Es una afirmación sobre el valor de un parámetro poblacional que puede comprobarse estadísticamente para determinar su validez.
Prueba de hipótesis	Procedimiento estadístico basado en datos muestrales y teoría de la probabilidad utilizada para determinar si una hipótesis es una afirmación razonable y no debe rechazarse, o si es irrazonable y debe rechazarse.
Incentivo	Aumento preestablecido del pago al contratista que se aplica a un elemento de la oferta contractual cuyo nivel de calidad de los materiales y de la mano de obra, determinado por medios estadísticos, supera el nivel de calidad aceptable (AQL) especificado. El incentivo se expresa normalmente como porcentaje del precio original de la oferta contractual.
Incrementos	Pequeñas cantidades de material de igual tamaño que se obtienen de un lugar de muestreo y se combinan para formar una muestra.

Garantía independiente (GA)	Actividades que consisten en una evaluación imparcial e independiente de todos los procedimientos de muestreo y ensayo (o inspección) utilizados en el programa de garantía de calidad. [La IA proporciona una verificación independiente de la fiabilidad de los datos de aceptación (o verificación) obtenidos por la agencia y los datos de control de calidad obtenidos por el contratista. Los resultados de los ensayos o inspecciones de la IA no deben utilizarse como base para la aceptación de materiales. La IA proporciona información para la gestión del sistema de calidad].
Prueba t independiente	Prueba de hipótesis que implica la comparación de las medias de dos conjuntos de datos obtenidos de forma independiente. La hipótesis que se prueba es que la media de una población normal es igual a la media de otra población normal.
Valor individual	Un único resultado de prueba o medición para una (n = 1).
Inferencia	Una conclusión lógica sobre una población basada en una muestra (es decir, una muestra estadística).
Variabilidad inherente	Variabilidad debida a causas aleatorias o sin importancia en un proceso determinado. Los cuatro componentes de la variabilidad inherente son: variabilidad del muestreo, variabilidad de las pruebas, variabilidad de los materiales y variabilidad de la construcción (producción y colocación).

Inspección	Proceso de examen visual o medición física de un artículo para compararlo con los requisitos aplicables. [Las actividades de inspección son principalmente de naturaleza visual. Las características (es decir, los atributos) de un producto o artículo se evalúan mediante observaciones visuales (es decir, *examen*) y mediciones de control (es decir, *medición física*) del equipo, las condiciones ambientales, los materiales y la mano de obra del producto].
Lote	Cantidad específica de material procedente de una única fuente que se supone que ha sido producido o colocado mediante el mismo proceso controlado.
Límite de control inferior (LCL)	El límite del gráfico de control establecido estadísticamente para valores por debajo de la línea central (objetivo) de un gráfico de control. [El LCL para un gráfico de control que traza valores individuales se establece en menos 2 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. El LCL para un gráfico de control que traza subgrupos de datos se establece en menos 3 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. (Véase Límites del gráfico de control)].
Límite inferior de especificación (LSL)	El valor límite inferior basado en estadísticas que se utiliza con una medida de calidad para evaluar la calidad de un lote.
Fabricante	Empresa que fabrica y suministra materiales estándar para el contratista principal, un subcontratista o un fabricante.

Masa	Propiedad de un cuerpo que mide su inercia y que se utiliza habitualmente para medir la cantidad de material que contiene y que le confiere peso en un campo gravitatorio. La masa (m) se mide dividiendo el peso (w) de un cuerpo por la aceleración debida a la gravedad (g). (m = w/g)
Variabilidad material	Variabilidad debida a la variación inherente que existe de forma natural en un material determinado.
Matemáticas	La ciencia de los números y sus operaciones, interrelaciones, combinaciones, generalizaciones y abstracciones, así como de las configuraciones espaciales y su estructura, medición, transformaciones y generalizaciones.
Media ($\bar{X}$)	Media aritmética de un conjunto de mediciones o valores de prueba.
Rango medio ($\bar{R}$)	La suma de los rangos de conjuntos o subgrupos de datos dividida por el número total de conjuntos o subgrupos.
Mediana	Para un conjunto de datos, el valor por encima del cual se encuentra la mitad de los valores y por debajo del cual se encuentra la otra mitad.
Especificaciones del método	Especificaciones que exigen al contratista producir y colocar un producto utilizando materiales especificados en proporciones definidas y tipos específicos de equipos y métodos bajo la dirección de la Agencia.

Normas militares	Especificaciones desarrolladas por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para la aceptación de lotes. La norma militar 414 establece procedimientos de muestreo y tablas para la inspección por variables. La norma militar 105 establece procedimientos de muestreo y tablas para la inspección por atributos.
Moda	El valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.
Gráfico de media móvil	Gráfico de control que traza una media móvil para un Número predefinido de valores de muestra o valores de subgrupo.
Gráfico de barras musicales	(Véase Gráfico de ejecución)
Curva de distribución normal (curva en forma de campana)	Curva con forma de campana simétrica respecto a la media. Se determina mediante los valores de *x* y *s,* y se utiliza para describir una distribución de mediciones de muestras individuales o una distribución de medias muestrales.
Hipótesis nula	La hipótesis que se está probando. [Contrariamente a lo que dicta la intuición, la hipótesis nula suele ser una hipótesis de investigación que el analista preferiría rechazar en favor de la hipótesis alternativa. La hipótesis nula nunca puede demostrarse como cierta. Sin embargo, puede demostrarse, con riesgos de error especificados, que es falsa. Si no se refuta (es decir, no se rechaza), normalmente se actúa partiendo del supuesto de que no hay motivos para dudar de que la hipótesis sea cierta.]

Curva de características operativas (OC)	Representación gráfica de un plan de aceptación que muestra la relación entre la calidad real de un lote y: (a) la probabilidad de su aceptación, o (b) la probabilidad de su aceptación en distintos niveles de pago.
Valor atípico	Una medición o valor de prueba individual extremo, o una media extrema.
Prueba t pareada	También llamada *prueba t para mediciones emparejadas*. Prueba estadística utilizada para comparar los valores de prueba de múltiples pares de muestras divididas. La prueba utiliza las diferencias entre los pares de valores de prueba y determina si la diferencia media es estadísticamente diferente de 0.
Colaboración	Proceso organizado para establecer relaciones de trabajo positivas entre el contratista y la agencia. Utiliza una estrategia formal desarrollada conjuntamente, basada en el trabajo en equipo, el compromiso y la mejora de la comunicación, con el fin de evitar disputas en un proyecto.
Ajuste salarial	La cantidad real, ya sea en dólares o en dólares por área/peso/volumen, que se añadirá o restará al pago final del contratista por una unidad de trabajo.
Factor de pago	Factor de multiplicación, a menudo expresado como porcentaje, que tiene en cuenta una única característica de calidad y se utiliza para determinar el pago del contratista por una unidad de trabajo.

Porcentaje dentro de los límites (PWL)

El área acumulada bajo una curva estándar que representa el porcentaje estimado de un lote que se encuentra por encima del límite inferior de especificación (LSL), por debajo del límite superior de especificación (USL) o entre los límites superior e inferior de especificación.

Especificaciones basadas en el rendimiento

Especificaciones de garantía de calidad que describen los niveles deseados de propiedades técnicas fundamentales (por ejemplo, módulo de elasticidad, propiedades de fluencia y fatiga) que son predictores del rendimiento y aparecen en las relaciones de predicción primarias. [Las «relaciones de predicción primarias» contenidas en las especificaciones basadas en el rendimiento son modelos que pueden utilizarse para predecir la tensión, el desgaste o el rendimiento a partir de combinaciones de predictores que representan el tráfico, el entorno, los materiales de soporte y las condiciones estructurales].

Especificaciones relacionadas con el rendimiento

Especificaciones que utilizan relaciones cuantificadas entre las características de calidad y el coste del ciclo de vida (LCC) que están correlacionadas con el rendimiento del producto.

Población

Conjunto de todos los individuos, objetos o elementos posibles que poseen alguna característica o características comunes específicas que pueden medirse.

Precisión

(1) El grado de concordancia entre una serie de mediciones seleccionadas al azar. (2) El grado en que las pruebas o mediciones realizadas en muestras idénticas tienden a producir los mismos resultados.

Contratista principal (general)	La empresa que tiene el contrato principal de construcción para un proyecto de la Agencia y que asume la responsabilidad general de completar el trabajo.
Probabilidad	La frecuencia relativa con la que se produce o es probable que se produzca un evento.
Productor	Empresa que produce y suministra materiales producidos para el proyecto (por ejemplo, áridos, HMA, PCC) para el contratista principal o un subcontratista.
Materiales producidos para el proyecto	Elementos principales producidos directamente para un proyecto de construcción individual, ya sea por un contratista o por un productor de materiales. [Por lo general, se caracterizan por una o varias de las siguientes condiciones: a) El proceso de producción del material se lleva a cabo en el emplazamiento del proyecto o en una planta del productor situada en las proximidades del emplazamiento del proyecto; b) Las propiedades del material están sujetas a una posible contaminación o segregación durante el transporte desde la planta hasta el emplazamiento del proyecto; c) Los materiales llegan y se colocan en el lugar del proyecto en un estado no sólido o en forma de mezcla suelta que requiere mezcla, compactación, acabado o curado posteriores.]
Tabla Q	Tabla de valores que relaciona los índices de calidad (*QU* o *QL*) con el porcentaje estimado dentro de los límites (PWL) o el porcentaje defectuoso (PD), para una muestra estadística de un tamaño determinado (n).

Laboratorios cualificados	Laboratorios que son capaces, según lo definido por los programas apropiados establecidos o reconocidos por cada agencia. [Los laboratorios acreditados se consideran cualificados. Sin embargo, un laboratorio cualificado no tiene por qué estar acreditado].
Personal cualificado	Personal que sea capaz, según lo definido por establecidos o reconocidos por los criterios de cada organismo.
Calidad	(1) El grado de excelencia de un producto o servicio; (2) El grado en que un producto o servicio satisface las necesidades de un cliente específico; (3) El grado en que un producto o servicio se ajusta a un requisito determinado; o (4) El cumplimiento de los requisitos.
Garantía de calidad	(1) Todas aquellas acciones planificadas y sistemáticas necesarias para garantizar que un producto o instalación funcionará satisfactoriamente en servicio; o (2) Asegurarse de que la calidad de un producto es la que debe ser.
Programa de garantía de calidad	Los elementos programáticos fundamentales necesarios para la implementación del aseguramiento de la calidad en la construcción.
Especificaciones de garantía de calidad	Especificaciones que requieren actividades de control de calidad por parte del contratista y de aceptación por parte de la agencia durante la producción y la colocación de un producto. La aceptación final del producto se basa normalmente en un muestreo estadístico del nivel de calidad medido para las características clave de calidad.

Característica de calidad	Característica de un producto que se mide mediante pruebas, ya sea con fines de control de calidad (CC) o para verificar el cumplimiento de los requisitos de aceptación. [Las características de calidad son propiedades específicas del material o requisitos del producto que se evalúan mediante pruebas de CC y de aceptación. Las características de calidad que se especifican se seleccionan normalmente porque: a) están relacionadas con el rendimiento inicial y a largo plazo; b) son cuantificables o medibles; y c) pueden medirse con buena repetibilidad].
Control de calidad (QC)	El sistema utilizado por una parte contratista para supervisar, evaluar y ajustar sus procesos de producción o colocación para garantizar que el producto final cumpla con el nivel de calidad especificado. [El control de calidad incluye el muestreo, las pruebas, la inspección, la evaluación y las medidas correctivas (cuando sea necesario) para mantener un control continuo del proceso de producción o colocación].
Plan de control de calidad	Documento específico del proyecto elaborado por el contratista que identifica a todo el personal y los procedimientos de control de calidad que se utilizarán para mantener «bajo control» todos los procesos de producción y colocación y cumplir los requisitos especificados por la agencia.

Índice de calidad (Q)

Estadística que, cuando se utiliza con las tablas adecuadas, proporciona una estimación del porcentaje dentro de los límites (PWL) o del porcentaje defectuoso (PD) de un lote. [Normalmente se calcula a partir de la media y la desviación estándar de un conjunto de valores de muestra. El índice de calidad inferior (QL) se calcula en relación con el límite inferior de especificación (LSL). El índice de calidad superior (QU) se calcula en relación con el límite superior de especificación (USL).]

Análisis del nivel de calidad (QLA)

Procedimiento matemático que proporciona una estimación del porcentaje de un lote que se encuentra dentro de los límites especificados (porcentaje dentro de los límites) o fuera de los límites especificados (porcentaje defectuoso).

Límites de calidad

Los valores límite superiores o inferiores proporcionados en las especificaciones que se utilizan para evaluar la aceptabilidad de los materiales producidos o colocados. [Hay tres tipos de límites de calidad que suelen incluirse en las especificaciones de garantía de calidad. Son los siguientes: límites de especificación, límites de ingeniería y límites de aceptación. Cada tipo de límite de calidad cumple una función específica diferente en la evaluación de la calidad de un producto o elemento de trabajo. Los límites de calidad se utilizan conjuntamente para determinar la calidad de una característica de calidad individual].

Medida de calidad

Cualquiera de las diversas herramientas matemáticas que se utilizan para cuantificar el nivel de calidad de una característica de calidad individual. [La aplicación de una medida de calidad a un conjunto de datos de pruebas proporciona una representación numérica global de la calidad para una característica de calidad específica. Las medidas de calidad típicas utilizadas en el control de calidad se seleccionan porque cuantifican la calidad media, la variabilidad o ambas. Entre los ejemplos de medidas de calidad que se pueden utilizar se incluyen: media, desviación estándar, porcentaje de defectos (PD), porcentaje dentro de los límites (PWL), desviación absoluta media (AAD), media móvil e índice de conformidad (CI).
PWL o PD son las medidas de calidad recomendadas para su uso en las especificaciones de garantía de calidad.

Manual del sistema de calidad (QSM)

Documento escrito que describe los procedimientos operativos generales de control de calidad de una parte contratante (por ejemplo, contratista principal, subcontratista, productor, fabricante, fabricante). [Un QSM documenta las políticas internas para lograr la calidad y la asignación de responsabilidades y rendición de cuentas para el control de calidad dentro de la organización del contratista. También puede describir los requisitos mínimos de control de calidad que se esperan de las partes contratistas de nivel superior o inferior que suministran materiales constitutivos o que participan en la manipulación o el procesamiento de los productos del contratista].

Muestreo por cuotas

Procedimiento no aleatorio en el que las muestras se a discreción y conveniencia del muestreador para satisfacer el número requerido de muestras para un lote.

Gráfico R	Gráfico de control que traza los valores del rango (R) de los subgrupos de mediciones o valores de prueba frente a los límites de control derivados estadísticamente.
Aleatorio	Sin objetivo ni razón, dependiendo totalmente del azar.
Número aleatorio	Número seleccionado de forma totalmente aleatoria a partir de unatabla de números aleatorios o un generador de números aleatorios.
Tabla de números aleatorios	Colección de dígitos, mostrados aleatoriamente en columnas y filas, que se utilizan para determinar números aleatorios.
Muestreo aleatorio	Procedimiento de muestreo en el que cada muestra obtenida del lote tiene la misma probabilidad de ser seleccionada.
Rango	Diferencia entre el valor individual más alto y el valor individual más bajo en un conjunto de valores medidos o probados.
Nivel de calidad rechazable (RQL)	El nivel de calidad real establecido para una característica de calidad que es rechazable cuando se utiliza una medida de calidad concreta. [Por ejemplo, cuando la medida de calidad utilizada es el porcentaje dentro de los límites (PWL), el RQL es el PWL establecido (no estimado) en el que se rechaza la característica de calidad].
Repetibilidad	El grado de variación entre los resultados de las pruebas obtenidos por el mismo operador al repetir una prueba con el mismo material. [El término «repetibilidad» se utiliza para designar la precisión de la prueba con un solo operador].

Muestra representativa	Una muestra única y no aleatoria que, en opinión del el muestreador, representa una condición promedio de un material o un elemento de construcción.
Reproducibilidad	El grado de variación entre los resultados de las pruebas obtenidos por diferentes operadores que realizan la misma prueba sobre el mismo material. [Mide la influencia humana o el error humano en la ejecución de una prueba. El término «reproducibilidad» se utiliza para designar la precisión de las pruebas entre laboratorios].
Re-muestreo	Proceso de obtención de una nueva muestra de material, si procede, para sustituir la muestra original de un sublote individual.
Nueva prueba	Proceso de realizar otra prueba para confirmar la prueba inicial. La repetición de la prueba debe realizarse utilizando una segunda porción de prueba o muestra preparada a partir de la misma muestra original.
Gráfico de ejecución	También llamado *gráfico de barras musicales*. Gráfico de control que presenta mediciones individuales o valores de prueba para una característica de calidad específica en un eje vertical y los números de muestra individuales (en orden consecutivo) en un eje horizontal.
Redondeo	Proceso de eliminar uno o más dígitos para que el valor reportado contenga solo aquellos dígitos que son significativos o necesarios en cálculos posteriores.

Muestra

(1) También denominada *muestra* de *material*. Pequeña cantidad de material o medición obtenida de un sublote o lote. [Una muestra puede referirse a un punto de inspección (es decir, examen visual o medición física) o a una muestra de material individual obtenida para su ensayo. Una muestra puede estar compuesta por uno o más incrementos de igual tamaño que se han obtenido del lugar de muestreo y se han combinado.]; o
(2) También denominada *muestra estadística*. Todas las muestras obtenidas de un lote que proporcionan información que puede utilizarse para cuantificar la calidad de todo el lote. [El contexto en el que se utiliza la palabra «muestra» determina su significado. Por ejemplo, «obtener una muestra aquí» significaría obtener una cantidad física de material de una ubicación específica; mientras que «el tamaño de la muestra era igual a 9» significa que se obtuvieron un total de 9 muestras de material individuales de forma aleatoria y, por lo tanto, constituían la muestra estadística de tamaño n = 9. Cada muestra se incluye en la muestra estadística global de un lote determinado].

Media muestral

Media de un grupo o subgrupo de muestras de material. [Se utiliza al desarrollar una distribución de medias de muestras. No es la media de todas las muestras individuales de un lote].

Muestreo	Proceso de selección de una o más muestras de una población. [El muestreo es una parte integral del control de calidad del contratista, así como de la aceptación de la agencia. Se deben establecer y aplicar procedimientos de muestreo tanto para las actividades de inspección como para las de ensayo. Un sistema de muestreo eficaz delimita una población según segmentos medibles. Los elementos clave de un sistema de muestreo incluyen: lotes, muestras estadísticas, sublotes y muestras].
Plan de muestreo	(Véase Plan de aceptación).
Variabilidad del muestreo	Variabilidad causada por la variación inherente a la Métodos o procedimientos de muestreo utilizados para obtener una muestra de material.
Muestreo selectivo	Procedimiento no aleatorio en el que se obtiene una muestra con fines meramente informativos para orientar las acciones de control de calidad o aceptación.
Vendedor(es)	El contratista o las partes contratantes que proporcionan los materiales y el trabajo necesarios para la finalización de un contrato de carreteras o transporte.

Riesgo del vendedor (α)

También denominado riesgo del contratista, error alfa (α) o error detipo I. Es el riesgo que corre el contratista de que se rechace material o mano de obra con un nivel de calidad aceptable (AQL). [Para un plan de aceptación de aceptación/rechazo, es la probabilidad de que un plan de aceptación rechace erróneamente material o mano de obra AQL con respecto a una sola característica de calidad de aceptación. Para los planes de aceptación variables, es equivalente a αPF , donde PF = 100. Es la probabilidad de que un plan de aceptación de pago variable acepte erróneamente material o mano de obra AQL con un pago inferior al 100 % con respecto a una única característica de calidad de aceptación].

Nivel de significación

Probabilidad de rechazar una hipótesis nula cuando es verdadera. Esta probabilidad (a menudo denotada por *α*) se especifica generalmente antes de extraer cualquier muestra, de modo que los resultados obtenidos no influyan en el nivel seleccionado.

Dígito(s) significativo(s)

También llamados *cifras significativas*. (1) Cualquiera de los dígitos del 0 a 9, excepto los ceros iniciales y algunos ceros finales, que se utiliza con su valor posicional para denotar una cantidad numérica con la aproximación deseada; o (2) Los dígitos de la forma decimal de un número que comienzan con el dígito distinto de cero situado más a la izquierda y se extienden hacia la derecha para incluir todos los dígitos garantizados por la precisión de los dispositivos de medición utilizados para obtener los números.

Cifras significativas

(Véase Dígito(s) significativo(s))

Asimetría Medida de la simetría de una distribución. Cuando la distribución tiene una mayor tendencia a inclinarse hacia la derecha, se dice que tiene una asimetría positiva. Cuando la distribución tiene una mayor tendencia a inclinarse hacia la izquierda, se dice que tiene una asimetría negativa. Para la distribución normal (así como para cualquier otra distribución simétrica), el coeficiente de asimetría es igual a 0.

Especificaciones (1) Recopilación de disposiciones y requisitos para realizar el trabajo prescrito; o (2) Un documento que establece los requisitos que debe cumplir un producto (es decir, materiales y procedimientos de construcción) y los procedimientos para la medición y el pago del trabajo completado.

Límites de las especificaciones Los valores límite basados en estadísticas que se establecen para un Característica de calidad que se aplica con una medida de calidad concreta (como PWL) para evaluar la calidad de un lote. [Los límites de especificación suelen estar compuestos por un límite de especificación superior (USL), un límite de especificación inferior (LSL) o ambos. Es importante tener en cuenta que, dado que los límites de especificación son límites estadísticos, los resultados de las pruebas de muestras individuales pueden superar el USL o el LSL y seguir estando incluidos en la determinación de aceptación. Los límites de especificación se utilizarán en última instancia para el cálculo de los niveles de calidad (por ejemplo, PWL), que se utilizarán para calcular los factores de pago de un lote].

Muestra También denominada *porción de prueba*. Porción de una muestra de material que se prepara y se somete a prueba. Algunos métodos de prueba requieren que las muestras de material se dividan en varias muestras para su análisis.

Correlación de muestras divididas Comparación de muestras divididas analizadas por diferentes partes (por ejemplo, la agencia frente al contratista) con un grado admisible de diferencia en los resultados de las pruebas atribuible a la variabilidad del muestreo y las pruebas.

Desviación estándar Una medida de la variabilidad de un conjunto de valores que se representada por la raíz cuadrada principal de la varianza.

Materiales fabricados estándar Artículos estándar que son producidos de forma rutinaria (es decir, no para un proyecto específico) por un fabricante. [Por lo general, se caracterizan por una o varias de las siguientes condiciones: a) Los materiales se producen normalmente en serie en condiciones de fabricación altamente controladas y en gran medida automatizadas; b) Las propiedades de los materiales son estables y no pueden alterarse si se transportan adecuadamente desde el fabricante hasta el lugar del proyecto;
c) Los materiales llegan al lugar del proyecto en estado sólido y acabado* y solo requieren instalación (**Nota: Las excepciones a esta condición*
incluyen materiales como aglutinantes PG, cementos y pinturas/recubrimientos que se incorporan a los materiales producidos en el proyecto o a los materiales estructurales fabricados).]

Distribución normal estándar Construcción matemática de una distribución de probabilidad continua que tiene una curva simétrica y asintótica en forma de campana, definida completamente por μ y σ, donde $\mu = 0$ y $\sigma = 1$, y para la cual la media, la mediana y la moda son iguales.
Todas las curvas de distribución que tienen una forma similar pueden modelarse mediante la distribución normal estándar a través de la transformación de la puntuación z.

Gráfico de control estadístico	(Véase «Gráfico de control»).
Muestra estadística	(Véase Muestra)
Estadística	Valor resumido calculado a partir de una muestra (es decir, una muestra estadística) de valores medidos o probados. Algunos ejemplos son la media, la desviación estándar y los coeficientes de regresión estimados a partir de la muestra.
Estadística	Rama de las matemáticas que se ocupa de la recopilación, el análisis, la interpretación y la presentación de grandes cantidades de datos numéricos. La estadística utiliza teorías matemáticas de probabilidad para imponer orden y regularidad a conjuntos de datos.
Muestreo aleatorio estratificado	Procedimiento de muestreo mediante el cual se obtienen muestras aleatorias de cada sublote.
Distribución t de Student	También llamada *distribución t de Student*. Una familia de distribuciones de muestreo continuas empleadas en la teoría de muestreo pequeño.
Subcontratista	Empresa responsable de la colocación o instalación de un elemento individual de trabajo bajo contrato con el contratista principal.
Subgrupo	Conjunto (n > 1) de valores de muestra de control de calidad de un lote, cuya media o rango se representan en un gráfico de control.

Sublote

Subdivisión de un lote. [Un sublote es una división o parte igual (normalmente) de un lote del que se obtiene una muestra de material con el fin de evaluar los atributos de inspección o las características de calidad del lote. Los sublotes se establecen para garantizar que las muestras de material obtenidas del lote no se concentren todas en un solo lugar.
Los sublotes permiten tomar muestras de diferentes segmentos (principio, mitad y final) del lote].

Simetría

Correspondencia en el tamaño y la forma de las partes alrededor de un eje determinado. Por ejemplo, se dice que la curva en forma de campana de una distribución normal estándar es simétrica alrededor del valor medio.

Muestreo sistemático

(Véase Muestreo por intervalos uniformes)

Valor objetivo

El valor que se asigna a una característica de calidad que representa la media de la distribución esperada de la población especificada.

Porción de prueba

(Véase Muestra)

Prueba

La aplicación de aparatos y procedimientos prescritos para caracterizar una propiedad específica de un material o producto. [Las pruebas se utilizan para determinar si las características físicas o químicas de un producto terminado o de sus materiales constituyentes cumplen los requisitos establecidos. Las pruebas difieren de la inspección (mediante examen) en que proporcionan una herramienta de medición *objetiva* y *cuantitativa*. Proporcionan una magnitud numérica para una propiedad específica (es decir, una característica de calidad).

Variabilidad de las pruebas Variabilidad que es el resultado de la variación inherente a la realización de un método de ensayo y la variación inherente al equipo de ensayo.

Gestión de la calidad total Proceso de mejora continua para satisfacer los requisitos del cliente : una filosofía de hacer lo correcto a la primera.

Prueba t (Véase Prueba t independiente y Prueba t pareada).

Error de tipo I (Véase Riesgo del vendedor)

Error de tipo II (Véase Riesgo del comprador)

Imparcial Libre de sesgos.

Muestreo por intervalos uniformes Procedimiento no aleatorio en el que las muestras se en intervalos fijos de producción o cantidad de material.

Límite de control superior (UCL) El límite del gráfico de control establecido estadísticamente para valores por encima de la línea central (objetivo) de un gráfico de control. [El UCL para un gráfico de control que traza valores individuales se establece en más 2 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. El UCL para un gráfico de control que traza subgrupos de datos se establece en más 3 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. (Véase Límites del gráfico de control)].

Límite superior de especificación (USL) El valor límite superior basado en estadísticas que se utiliza con una medida de calidad para evaluar la calidad de un lote.

Validación	La comparación matemática de dos conjuntos de datos obtenidos de forma independiente (por ejemplo, datos de aceptación de la agencia frente a datos de control de calidad del contratista) para determinar si se puede suponer que proceden de la misma población.
Variable	Medida que puede tener una serie de valores diferentes.
Variabilidad	Diferencias en los valores medidos en las pruebas para una característica de calidad determinada dentro de un patrón estable debido al azar, o fuera de este patrón normal debido a causas asignables.
Varianza	Medida de la dispersión de un conjunto de valores con respecto a su media, expresada como una función de la suma de todas las desviaciones al cuadrado con respecto a la media.
Muestreo y ensayo de verificación	(Véase Muestreo y ensayo de aceptación)
Límites de advertencia (superior, inferior)	Límites establecidos dentro de los límites superior e inferior del gráfico de control en los gráficos de control que trazan subgrupos de datos. Se utilizan para advertir de posibles problemas en el proceso de producción o colocación que pueden provocar que el proceso se «salga de control». [Los límites de advertencia se establecen en ± 2 desviaciones estándar del objetivo del gráfico de control. Los límites de advertencia no se utilizan con gráficos de control que trazan valores de muestras individuales (es decir, gráficos de ejecución).]
Peso	La fuerza con la que un cuerpo es atraído hacia la Tierra o un cuerpo celeste por la gravedad y que es igual al producto de la masa (m) de un objeto y la aceleración gravitacional local (g). (w = m x g)

Gráfico X-Bar ($\bar{X}$)	Gráfico de control que representa los valores medios ($\bar{X}$) de subgrupos de mediciones o valores de prueba frente a límites de control derivados estadísticamente.
Cero defectos	Una filosofía de gestión de calidad total (TQM) cuyo objetivo es prevenir la aparición de problemas o defectos, y que se resume en: “Haz bien el trabajo a la primera”.

- FIN DEL APÉNDICE A -

APÉNDICE B

Conversiones métricas

Apéndice B

Conversiones métricas

Factores de conversión: del sistema inglés al métrico

Longitud

Para convertir desde	A	Multiplicar por
Pulgada	Milímetro (mm)	25,4
Pulgada	Centímetro	2,54
Pie	Metro (m)	0,3048
Yarda	Metro (m)	0,9144
Milla (estatutaria)	Kilómetro (km)	1,6093

Área

Para convertir desde	A	Multiplicar por
Pulgada cuadrada	Centímetro cuadrado (cm^2)	6,452
Pies cuadrados	Metro cuadrado (m^2)	0,0929
Yarda cuadrada	Metro cuadrado (m^2)	0,8361

Volumen (capacidad)

Para convertir desde	A	Multiplicar por
Onza	Centímetro cúbico (cm^3)	29,57
Galón	Metro cúbico (m^3)	0,003785
Pulgada cúbica	Centímetro cúbico (cm^3)	16,39
Pies cúbicos	Metro cúbico (m^3)	0,02832
Yarda cúbica	Metro cúbico (m^3)	0,7646

Masa

Para convertir desde	A	Multiplicar por
Onza	Grama (g)	28,35
Libra	Grama (g)	453,6
Libra	Kilogramo (kg)	0,4536
Tonelada (métrica)	Megagrama (Mg)	1,000
Tonelada (corta, 2000 lb)	Megagrama (Mg)	0,9072

Temperatura

Para convertir desde	A	Multiplicar por
Grados Fahrenheit (F)	Grados Celsius (C)	tC=(tF-32) ÷ 1,8
grados Celsius (C)	Grados Fahrenheit (F)	tF = 1,8tC + 32

- FIN DEL APÉNDICE B -

APÉNDICE C

Apoyo de las agencias y la industria para el control de calidad

Apéndice C

Apoyo de las agencias y la industria al control de calidad

Resumen del apéndice

En este apéndice se tratarán específicamente los siguientes temas:

C.1 - Apoyo conjunto de las agencias y la industria: el tercer ingrediente de la gestión de la calidad total

C.2 - Estado de la implementación del aseguramiento de la calidad

C.3 - Costes del control de calidad

C.4 - Preocupaciones de las agencias y los contratistas sobre el control de calidad

C.5 - Comentarios positivos y conclusiones sobre el aseguramiento de la calidad

C.6 - Uso de ajustes salariales en el aseguramiento de la calidad

C.7 - Compromiso con el control de calidad

C.8 - Formación en garantía de calidad

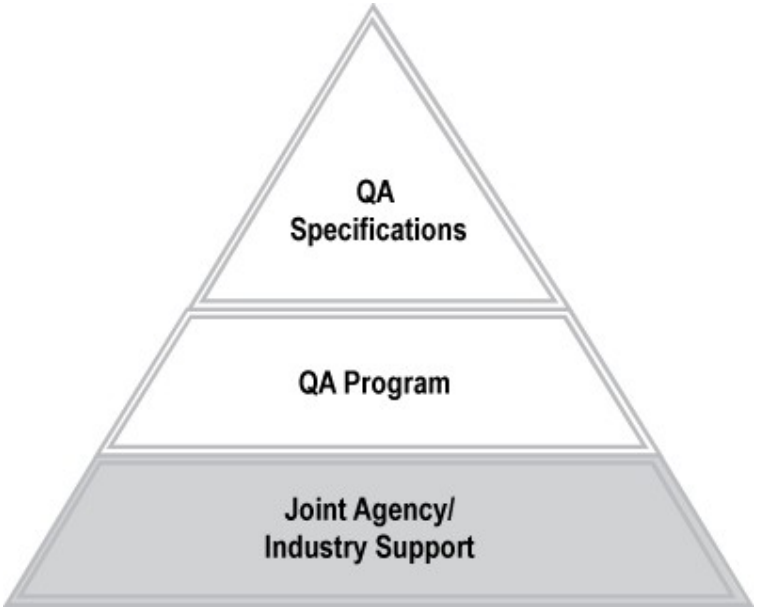
C.9 - Comunicación en garantía de calidad

C.10 - Financiación para el aseguramiento de la calidad

C.11 - Colaboración

C.12 - Apoyo al control de calidad Resumen

C.1 - Apoyo conjunto de organismos y la industria: el tercer componente de garantía de calidad



Apoyo de la agencia/industria para el aseguramiento de la calidad.

Como se expone en el capítulo 1, el control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte se compone de tres elementos principales. Los otros dos elementos, el programa de control de calidad (capítulo 3) y las especificaciones de control de calidad (capítulo 2), ya se han tratado anteriormente.
Sin embargo, estos dos componentes no pueden implementarse con éxito sin el componente fundamental: ***el apoyo conjunto de las agencias y la industria.***

Este componente fundamental a veces se da por sentado o se pasa por alto. El apoyo conjunto de la agencia y la industria incluye:

- Compromiso
- Formación
- Comunicación
- Financiación

Cada uno de estos elementos se abordará en este capítulo. Sin embargo, en primer lugar, analizaremos cómo se ha llevado a cabo la implementación del control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte, junto con algunos de los comentarios de las agencias y la industria.

C.2 - Estado de la implementación del control de calidad

Algunas agencias de transporte comenzaron a implementar especificaciones de garantía de calidad hace más de 30 años. El número de agencias que utilizaban especificaciones de garantía de calidad entre 1960 y 1990 era inicialmente reducido. Algunas agencias Incluso dejaron de utilizarlos tras una experiencia limitada. Las razones de este lento avance hacia la garantía de calidad se deben en gran medida a la ausencia de los otros dos componentes de la garantía de calidad: los seis elementos básicos de un programa de garantía de calidad y el apoyo conjunto de las agencias y la industria (es decir, compromiso, formación, comunicación y financiación).

En la década de 1990, en particular con un renovado enfoque en la calidad a través de la NQI, muchas agencias estatales de transporte se centraron en la gestión de la calidad total en la construcción de infraestructuras de transporte y comenzaron a adoptar especificaciones de garantía de calidad.

Una encuesta de la AASHTO de 1992 reveló que 42 de los 50 estados (el 84 %) utilizaban o tenían previsto utilizar algún tipo de especificación de garantía de calidad. Los resultados de la encuesta de la AASHTO de 1992 se resumen en la tabla siguiente.

Número de agencias estatales que utilizan especificaciones de garantía de calidad – 1992		
Estado de implementación		
Utilizando	No utilizan	Planificando
29 (58 %)	8 (16 %)	13 (26 %)

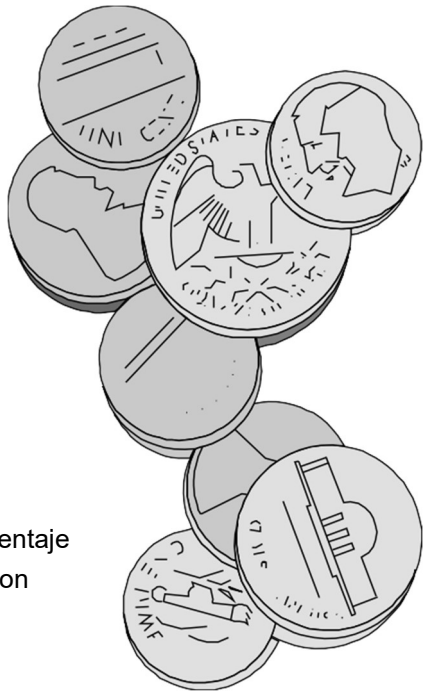
La FHWA realizó una encuesta actualizada en 1998 sobre el estado de la implementación del control de calidad por parte de las 52 agencias estatales de carreteras de EE. UU. (50 estados + DC y PR). La encuesta de la FHWA de 1998 reveló que el 96 % de las agencias estatales utilizaban o tenían previsto utilizar especificaciones de garantía de calidad para el HMA, mientras que el 75 % de las agencias las utilizaban o tenían previsto utilizarlas para el PCC estructural.

El uso de especificaciones de garantía de calidad por parte de las agencias estatales en 1998 se resume en la tabla siguiente por tipo de material.

Número de agencias estatales que utilizan especificaciones de garantía de calidad - 1998			
Tipo de material	**Estado de implementación**		
	En uso	No utiliza	Planificación
• Asfalto mezclado en caliente	40 (77 %)	2 (4 %)	10 (19 %)
• Hormigón estructural	21 (40 %)	13 (25 %)	18 (35 %)
• Pavimento PCC	20 (38 %)	17 (33 %)	15 (29 %)
• Base de áridos	18 (35 %)	19 (36 %)	15 (29 %)
• Terraplén	12 (23 %)	27 (52 %)	13 (25 %)

C.3 - Costes de garantía de calidad

La implementación del control de calidad requiere poco o ningún costo adicional para los contratistas. Un estudio publicado en 1998 (Transportation Research Record No. 1632, *Resumen de las prácticas actuales de control de calidad/aseguramiento de la calidad para la construcción con mezcla asfáltica en caliente*) reveló los siguientes hallazgos:



- Los costes de garantía de calidad del contratista estimados por la agencia para una tonelada de HMA oscilaron entre 0,27 y 1,81 dólares por megagrama (entre 0,30 y 2,00 dólares por tonelada), dependiendo de los mercados de la construcción y del tamaño del proyecto.

- Los costes de garantía de calidad de los contratistas, como porcentaje del coste total del proyecto, oscilaban entre el 0,5 % y el 10 %, con una media del 2 %.

C.4 - Preocupaciones de la agencia y los contratistas sobre el control de calidad

Como es de esperar con cualquier cambio en la práctica, algunas agencias de transporte y contratistas han expresado su preocupación por el control de calidad.

y contratistas han expresado su preocupación por el control de calidad. En 1998, el NETTCP llevó a cabo una encuesta entre las agencias y la industria de los seis estados de Nueva Inglaterra sobre las «Las primeras etapas de la implementación del control de calidad». Estas son las principales dificultades y preocupaciones de implementación comunicadas en la encuesta de NETTCP por los representantes de la industria de Nueva Inglaterra:

- ***«Los límites/tolerancias de las especificaciones de garantía de calidad siguen siendo demasiado subjetivos».***

  Como es de esperar durante las primeras etapas de la implementación del control de calidad, es posible que no se disponga de los datos históricos de muestreo y pruebas aleatorias necesarios para establecer y validar los objetivos y límites de las especificaciones. Por eso son importantes los proyectos piloto, para recopilar estos datos y determinar la variabilidad normal real de diversos materiales de construcción.

- ***«Las agencias difieren en sus especificaciones y enfoques».***

  Se trata de una preocupación válida, especialmente para los contratistas que trabajan en varios estados. Los seis estados de Nueva Inglaterra están colaborando a través del NETTCP para abordar el control de calidad de manera coherente y uniforme. Aunque es posible que esta iniciativa no elimine por completo las diferencias en las especificaciones de control de calidad entre las distintas agencias, se espera que elimine la mayoría de las diferencias importantes.

- ***«La agencia puede mostrarse reacia a ceder el control».***

  Trabajar en un entorno de garantía de calidad requiere cambios en las funciones y responsabilidades del personal del contratista y de la agencia. Con la formación y la experiencia suficientes, es de esperar que el personal de ambas partes se dé cuenta de que la garantía de calidad no requiere realmente «renunciar» a nada. El enfoque de la agencia simplemente se centra en la inspección de aceptación, el muestreo y las pruebas, en lugar de intentar dirigir las operaciones de control de calidad del contratista.

- ***«Las pruebas de control de procesos son obligatorias»***

  Sí, tal y como se explica en el capítulo 2, el control de calidad es uno de los seis elementos fundamentales de un programa de garantía de calidad. Asignar la responsabilidad de la inspección, el muestreo y las pruebas de control de calidad al contratista es coherente con el enfoque que se sigue en la mayoría de los sectores empresariales que fabrican o producen productos. Es mucho más eficaz que el contratista se haga responsable del control de la calidad de la producción y la colocación de los materiales de construcción.

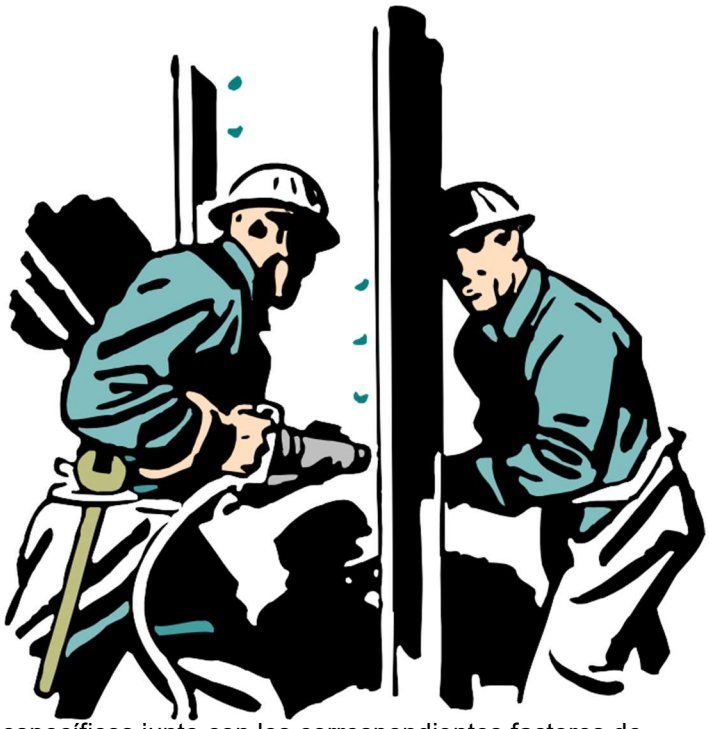
- ***«Aumenta los niveles de control de calidad en una organización».***

  Dependiendo de la estructura de gestión de cada contratista o productor, el aseguramiento de la calidad puede crear niveles adicionales de personal. Sin embargo, aquellas organizaciones que adoptan filosofías de gestión modernas que abarcan el empoderamiento de la persona «más cercana al trabajo» no deberían encontrar la necesidad de «aumentar los niveles». Se necesitará personal responsable del control de calidad (superintendentes, capataces, operadores, administradores de planes de control de calidad, técnicos) que esté debidamente formado y que tenga un conocimiento sólido de los principios y prácticas de garantía de calidad.

- ***«Dificultad para utilizar múltiples subcontratistas en el mismo proyecto para asignar la responsabilidad de los desincentivos económicos».***

  Esta cuestión no es exclusiva del control de calidad. La asignación de la «responsabilidad» a los subcontratistas individuales por los materiales de menor calidad debe estar claramente definida en cada subcontrato. Las características de calidad que se muestrean y prueban en el punto de producción de los materiales (es decir, la planta) deben ser responsabilidad del proveedor o productor, mientras que las características de calidad muestreadas y probadas a partir del material in situ deben ser responsabilidad del subcontratista individual que coloca el material. Los contratistas también deben prever el reparto de incentivos económicos con cada subcontratista para llamar su atención sobre la importancia de proporcionar un alto nivel de calidad.

En la encuesta NETTCP de 1998, los representantes de la Agencia de Nueva Inglaterra informaron de los siguientes retos:



- **"¡*Más trabajo para todos*!**
  (*Pero merece la pena)".*
  El Departamento de Transporte de Virginia informó de una declaración similar, pero señaló que, tras las dificultades iniciales de la implementación, las cosas comenzaron a estabilizarse. Tras adquirir suficiente experiencia con el control de calidad, la mayoría de las agencias se darán cuenta de que en realidad no requiere ningún trabajo adicional.

- ***"Mayor riesgo inicial"***
  El nivel de riesgo de la agencia dependerá de lo bien que
  Se han establecido objetivos y límites específicos junto con los correspondientes factores de remuneración. Por ello, es prudente adoptar un enfoque gradual que utilice solo incentivos y desincentivos parciales durante los proyectos piloto iniciales. El riesgo también se equilibrará siempre que la Agencia proporcione los niveles adecuados de muestreo, pruebas e inspección de aceptación para verificar los datos de control de calidad.

- ***"Curva de aprendizaje pronunciada"***
  La «curva de aprendizaje» depende en gran medida del compromiso de la agencia con el aseguramiento de la calidad. Como se analizará más adelante, el apoyo adecuado a través de la formación, la comunicación y la financiación son elementos clave para reducir la «curva de aprendizaje».

C.5 - Comentarios y conclusiones positivos sobre el aseguramiento de la calidad

De acuerdo, es mejor informar tanto de lo bueno como de lo malo, así que aquí hay algunos comentarios positivos relacionados con el control de calidad obtenidos por la AASHTO, la NETTCP, la Junta de Investigación del Transporte (TRB) y algunos estados más allá de Nueva Inglaterra.

Una encuesta de la AASHTO sobre la industria realizada en 1992 recogió los siguientes comentarios:

- El control de calidad requiere menos inspectores (planta).
- La responsabilidad del control de calidad y la aceptación del proceso está separada y claramente definida.
- Permite optimizar y sincronizar el muestreo.
- Los riesgos se cuantifican, lo que significa que tanto el contratista como la agencia comparten los mismos riesgos en la aceptación del producto.
- La mejora de la calidad atribuida a su uso está documentada por agencias gubernamentales.
- Las especificaciones de garantía de calidad pueden estar relacionadas con el rendimiento
- Los factores salariales pueden estar relacionados con el rendimiento.
- El aseguramiento de la calidad es la única forma de garantizar un factor de remuneración del 100 %.
- Permite obtener precios superiores por un trabajo de calidad superior.

La encuesta NETTCP de 1998 a organismos e industrias de los seis estados de Nueva Inglaterra sobre las «primeras etapas de la implementación del aseguramiento de la calidad» reveló una serie de conclusiones positivas. A continuación, se presentan los comentarios positivos recogidos en la encuesta NETTCP por los representantes de la industria de Nueva Inglaterra:

- El efecto del control de calidad es evidente en el aumento de los medios auxiliares de calidad, como los dispositivos de transferencia de materiales, y en la ralentización del «tren» de pavimentación.

- Para obtener una buena calidad de conducción, es necesario concentrarse en todos los aspectos del proyecto.

- El control de calidad permite la creatividad y la desviación de los «procedimientos operativos estándar» de las especificaciones del método, lo que da al contratista poder sobre su propio destino.

En la encuesta NETTCP de 1998, tanto los representantes de la agencia como los de la industria de Nueva Inglaterra informaron de los siguientes resultados positivos:

- El control de calidad significa más trabajo en equipo; mayor comunicación con atención a los detalles.

- Todos, incluidos los propietarios, tienen interés en obtener un buen resultado; para ello es necesario que todas las partes trabajen juntas.

- Aumenta la concienciación de los contratistas sobre sus capacidades e incapacidades.

- El control de calidad aumenta la calidad, haciendo más hincapié en la coherencia de la producción, la construcción, el muestreo y las pruebas.

A continuación, se incluyen extractos del documento NCHRP Synthesis 263 de 1998 del Transportation Research Board (TRB) titulado «Técnicas de gestión del Departamento de Transporte del Estado para la aceptación de materiales y construcciones»:

- La calidad de los contratistas ha mejorado.

- Los contratistas son más conscientes de su producto.

- Los contratistas proporcionan pavimentos más lisos.
- El contratista es recompensado por el trabajo que supera las especificaciones.
- El Departamento de Transporte del Estado ha aumentado el cumplimiento de las especificaciones
- Se reducen los retrasos para los usuarios
- Se prevé una reducción de los litigios con los contratistas
- Las medidas disuasorias captan la atención del contratista para conseguir su máxima cooperación

Una encuesta del Departamento de Transporte de Arizona sobre garantía de calidad arrojó los siguientes resultados:

- Mayor confianza en el programa de pruebas del contratista
- Entrega puntual de los resultados de las pruebas
- Mejora de las relaciones entre la agencia y el contratista: se acabó el «nosotros contra ellos»

El Departamento de Transporte de Indiana también obtuvo, a partir de una encuesta realizada a su personal de construcción y pruebas, así como a contratistas y proveedores, los siguientes comentarios positivos sobre el uso de las especificaciones de garantía de calidad:

- El 73 % de los encuestados considera que las especificaciones de garantía de calidad son mejores que las especificaciones convencionales (método).
- El 76 % de los encuestados considera que un programa de garantía de calidad es más eficaz para fabricar mejores productos.
- El 62 % de los proveedores que respondieron prefieren suministrar a proyectos de garantía de calidad.
- El 69 % de los encuestados considera que un programa de garantía de calidad es rentable.

C.6 - Uso de ajustes salariales en el control de calidad

Como se ha comentado brevemente en el capítulo 4, el uso de ajustes salariales directamente vinculados al nivel de calidad medido de las características de calidad individuales es una parte importante de la mayoría de las especificaciones de garantía de calidad. Muchas agencias estatales ofrecen una reducción del pago por trabajos de menor calidad mediante desincentivos que suelen oscilar entre el 0 % y el 99 %. Para complementar esto, varias agencias estatales también recompensan el trabajo de calidad superior del contratista con incentivos que oscilan entre el 101 % y el 115 %.

Una encuesta realizada en 1992 por la AASHTO a las agencias estatales de transporte que utilizan el aseguramiento de la calidad reveló la siguiente información sobre el uso de los ajustes salariales:

- El 78 % de las agencias utilizan cláusulas de ajuste salarial específicas.
- El 35 % de las agencias utilizan factores de pago positivos.

Como se señala en el capítulo 2, uno de los principios clave de calidad respaldados por la NQI, tal y como se especifica en la Política Nacional sobre la Calidad de las Carreteras, es el apoyo al uso de incentivos vinculados a la calidad. En consecuencia, la aplicación de ajustes salariales positivos por parte de las agencias creció a lo largo de la década de 1990.

En 1996, la FHWA realizó una encuesta actualizada a las agencias estatales para determinar el uso de incentivos y desincentivos. Los resultados de la encuesta de la FHWA de 1996 se resumen a continuación:

- 29 de los 36 estados que respondieron a esta encuesta (81 %) utilizan algún tipo de ajuste salarial (incentivos y/o desincentivos).

- 27 de los 36 estados que respondieron (75 %) utilizan incentivos para al menos una característica de calidad de los materiales.

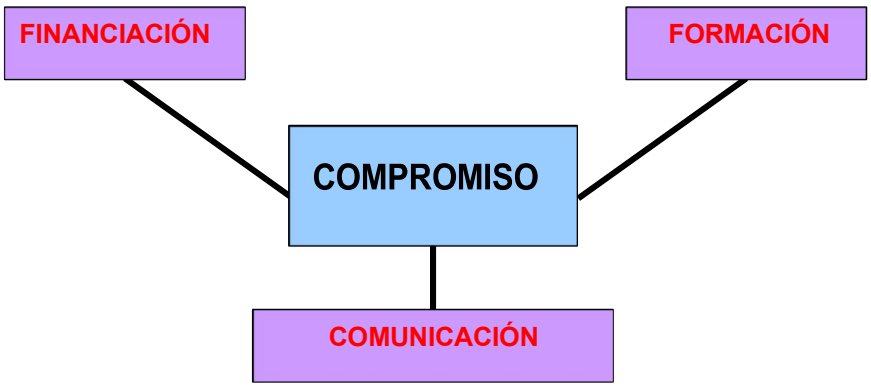
El uso generalizado de ajustes salariales para la construcción con HMA se señaló en un informe del TRB de 1998. El estudio, publicado por la Universidad de Wisconsin en el Transportation Research Record n.º 1632, se titula «Resumen de las prácticas actuales de control de calidad/garantía de calidad para la construcción con asfalto mezclado en caliente». En el estudio se informó del siguiente hallazgo:

- 39 de los 41 estados que respondieron a la encuesta del estudio (95 %) indicaron que están aplicando algún tipo de ajuste salarial

C.7 - Compromiso con la garantía de calidad

El compromiso es la base del apoyo conjunto de las agencias y la industria para el aseguramiento de la calidad. Debe existir un compromiso por parte del personal de todos los niveles de cada organización (agencias, asociaciones industriales, contratistas, proveedores). Comienza con la alta dirección y debe extenderse a todo el personal de primera línea responsable de la calidad de la construcción.

Este compromiso con el aseguramiento de la calidad debe demostrarse no solo con palabras, sino también con acciones tangibles continuas. Cada organización necesita un «campeón» que garantice la implementación de los elementos necesarios de un programa de aseguramiento de la calidad y coordine el desarrollo y la actualización de las especificaciones de aseguramiento de la calidad.
Las otras acciones tangibles requeridas de apoyo conjunto de la agencia y la industria, que el «campeón» debe liderar para su organización, incluyen la formación, la comunicación y la financiación, como se explica más adelante. La ausencia de cualquiera de estos elementos debilitará el compromiso con la implementación y la aplicación continua del aseguramiento de la calidad.



C.8 - Formación en garantía de calidad

Algunos de los conceptos y requisitos del aseguramiento de la calidad presentan un enfoque significativamente diferente de la construcción de infraestructuras de transporte tanto para el personal de la agencia como para el de la industria. Por consiguiente, ***la formación*** es una herramienta esencial para ayudar a respaldar la implementación satisfactoria del aseguramiento de la calidad. A continuación, se indican los enfoques clave que deben utilizarse en la formación sobre aseguramiento de la calidad:

- ***La formación conjunta entre la agencia y la industria es la más eficaz***
  Es necesario crear un entendimiento común del aseguramiento de la calidad en todas las agencias de transporte, así como entre los socios de la industria. Es importante que el personal de cada organización escuche «lo mismo» al «mismo tiempo». La formación conjunta permite a cada parte comprender mejor las preocupaciones de la otra y puede mejorar la comunicación y la cooperación.

- ***La formación es necesaria en todos los niveles***
  La formación en garantía de calidad debe impartirse tanto a la alta dirección como al personal de primera línea. Una agencia estatal de transporte del noreste de Estados Unidos aprendió que contar con unos pocos «gurús» de la garantía de calidad bien formados en la agencia no facilitaba la implementación eficaz de la garantía de calidad. El personal de primera línea a nivel de proyecto debe recibir una formación adecuada para comprender suficientemente los conceptos básicos, así como la aplicación detallada de los requisitos de las especificaciones.

- ***La formación debe adaptarse al público destinatario***

Obviamente, los altos directivos deben tener un conocimiento sólido de los fundamentos del aseguramiento de la calidad (como los que se incluyen en el módulo I de este curso), pero no necesitan una formación más profunda. El personal de primera línea de la agencia (ingenieros residentes, inspectores, técnicos) y el personal del contratista (superintendentes, capataces, operadores, administradores del plan de control de calidad, los técnicos) deben tener un conocimiento profundo de los principios y prácticas de garantía de calidad, así como de los requisitos detallados de las especificaciones de garantía de calidad. Los cursos de formación y certificación, como este curso de técnico en garantía de calidad, están diseñados para este personal de primera línea.

- ***Es necesaria una formación continua***

La formación en garantía de calidad no debe considerarse algo «puntual». La formación inicial debe ir seguida de una formación de actualización periódica, especialmente después de que el personal haya adquirido cierta experiencia práctica trabajando con las especificaciones de garantía de calidad. Esto permite al personal confirmar y/o aclarar su comprensión de la garantía de calidad a la luz de su experiencia real. La formación continua también garantiza que el personal nuevo se incorpore al entorno de garantía de calidad con los mismos conocimientos que sus compañeros más experimentados.

C.9 - Comunicación en el control de calidad

La siguiente herramienta esencial para apoyar la implementación del aseguramiento de la calidad es ***la comunicación***.

- ***La comunicación debe comenzar dentro de cada organización***.
  La intención y los planes para aplicar el aseguramiento de la calidad deben comunicarse desde la dirección al personal de primera línea dentro de cada organización (agencia, asociaciones industriales, contratistas, proveedores).

- ***La comunicación entre la agencia y la industria es fundamental***
  La comunicación entre una agencia y sus socios industriales también es fundamental durante las primeras fases del desarrollo del programa. La agencia debe compartir información con la industria al desarrollar las dos primeras piezas del rompecabezas de la gestión de calidad total (programa de garantía de calidad + especificaciones de garantía de calidad). Una comunicación abierta basada en un enfoque de colaboración ayudará a disipar los temores entre las organizaciones, al permitir la aportación y consideración de los intereses de cada socio.

- ***Es necesaria la comunicación a nivel de proyecto***
  La comunicación continua a nivel de proyecto dentro y entre el personal del contratista y de la agencia es necesaria para la aplicación exitosa del aseguramiento de la calidad.
  La comunicación debe continuar con las actividades diarias a nivel de proyecto, especialmente a través de comentarios oportunos y el intercambio de información sobre inspecciones y pruebas para el control de calidad y la aceptación.

- ***Los talleres conjuntos entre la agencia y la industria mejoran la comunicación***
  Se deben celebrar talleres periódicos para el personal de la agencia y la industria con el fin de presentar el estado, los avances y las cuestiones relacionadas con el programa y las especificaciones de garantía de calidad. Esto brinda una oportunidad para la mejora continua de la calidad (CQI) conjunta entre la agencia y la industria. También se deben utilizar otros foros (por ejemplo, reuniones de la industria, conferencias) para comunicar los avances y las cuestiones relacionadas con la aplicación de la garantía de calidad.

C.10 - Financiación para el aseguramiento de la calidad

Por último, pero no por ello menos importante, ***la financiación*** por parte de las agencias y la industria es necesaria para respaldar la implementación del control de calidad. Cada organización debe comprometerse a proporcionar la financiación adecuada para los recursos (personal, equipos, formación) necesarios para el éxito del programa de garantía de calidad. La inversión en garantía de calidad no debe considerarse un «lujo», sino una «necesidad».

- ***Inversión del contratista***
  Es posible que los contratistas tengan que invertir en nuevos equipos para mejorar sus operaciones de producción y colocación de materiales. Otras necesidades de los contratistas pueden incluir nuevos laboratorios y equipos de laboratorio. También puede ser necesario personal cualificado adicional (normalmente administradores de planes de control de calidad, técnicos e inspectores).

- ***Necesidades de financiación de la agencia***
  Por parte de la Agencia, es evidente que es necesario garantizar un número adecuado de ingenieros, técnicos e inspectores cualificados, así como equipos para realizar pruebas e inspecciones.

- ***Financiación de la formación***
  Es evidente que se debe proporcionar formación tanto a la Agencia como a la industria, tal y como se ha mencionado anteriormente. La formación y los talleres sobre garantía de calidad podrían ser financiados conjuntamente por la Agencia y la industria.

C.11 - Colaboración

El componente de apoyo de la colaboración

[s]

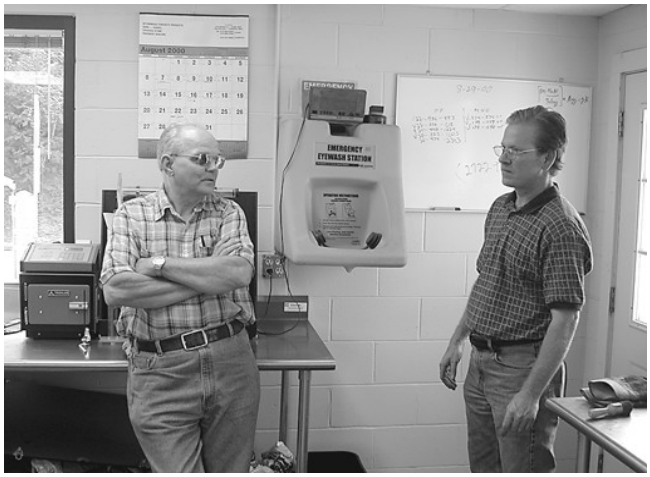
Además de los seis elementos básicos del programa de garantía de calidad presentados, hay un componente adicional que puede utilizarse para respaldar estos elementos. ***La colaboración*** es un ingrediente clave para respaldar un programa de garantía de calidad. La colaboración se define de la siguiente manera:

> **Colaboración**: «Proceso organizado para establecer relaciones de trabajo positivas entre el contratista y la agencia. Utiliza una estrategia formal desarrollada de forma conjunta, basada en el trabajo en equipo, el compromiso y la mejora de la comunicación para evitar disputas en un proyecto».

Función de la colaboración

[s]

La colaboración puede ayudar a facilitar la implementación de los procedimientos de control de calidad del contratista y de aceptación de la agencia. Nunca debe utilizarse como sustituto de la resolución de disputas como elemento central del programa de control de calidad. Sin embargo, la colaboración puede ayudar a minimizar la necesidad de utilizar el proceso formal de resolución de disputas o hacer que este proceso sea menos conflictivo cuando se implementa. La colaboración es una herramienta que puede ayudar a vincular los sistemas de control de calidad y aceptación y respaldar los demás elementos del programa de control de calidad para que sigan funcionando sin problemas.



El concepto de «colaboración» no es una forma nueva de hacer negocios: muchos empleados de agencias y contratistas siempre han utilizado un enfoque de colaboración informal. Tal y como se utiliza hoy en día, la colaboración es un método formal y organizado para mejorar

las comunicaciones y mejorar la resolución de conflictos en un proyecto. Las partes de un contrato acuerdan voluntariamente adoptar un método diferente de interacción en un proyecto. Las partes acuerdan utilizar un enfoque cooperativo basado en el trabajo en equipo para la gestión del proyecto. Requiere que los participantes adopten una actitud abierta y estén dispuestos a escuchar y trabajar con otras personas.

Antecedentes de la colaboración formal

[s]

La colaboración tuvo su origen en la industria privada a principios de la década de 1980, cuando la dirección vio la necesidad de desarrollar formas más eficientes para que los grupos de personas trabajaran juntos. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos recurrió a la colaboración en 1988 en un esfuerzo por revertir la ola de litigios que había caracterizado al sector de la construcción en la década de 1980. Con demasiada frecuencia, los esfuerzos del Cuerpo de Ingenieros y los contratistas se centraban en la preparación de documentos y la adopción de posturas relacionadas con reclamaciones y demandas. El Cuerpo de Ingenieros reconoció que esta no era una forma rentable de llevar a cabo sus actividades y entregar el producto final.

En 1991, muchas agencias de transporte comenzaron a utilizar la colaboración con el apoyo de la Asociación General de Contratistas de América (AGCA). Una encuesta realizada en 1993 por la Universidad Estatal de Bowling Green para el Departamento de Transporte de Ohio reveló que cuarenta y dos agencias estatales de transporte habían implementado la colaboración. La Asociación Nacional para las Autopistas Calidad, AASHTO, AGCA y FHWA han fomentado el uso de la colaboración como una herramienta eficaz para reforzar el programa.

Implementación de actividades de colaboración

[s]

Si bien el contrato establece las relaciones jurídicas entre la agencia y el contratista, la colaboración busca establecer relaciones de trabajo positivas entre el personal del proyecto (partes interesadas) mediante una estrategia formal de compromiso y comunicación desarrollada de forma conjunta. Su objetivo es crear un entorno de confianza y trabajo en equipo entre la agencia y el contratista. La colaboración también promueve la importancia de los objetivos compartidos por la agencia y el contratista y establece un compromiso compartido para resolver los problemas de manera oportuna y rentable. Para obtener los resultados más eficaces en un proyecto, se recomienda celebrar un taller de colaboración, idealmente en la fase inicial del proyecto. El taller de colaboración se suele llevar a cabo en un lugar neutral, alejado del proyecto y fuera de las respectivas oficinas de la agencia y el contratista.

Se utilizan debates estructurados y ejercicios de formación de equipos para identificar y desarrollar lo siguiente:

- Objetivos individuales y compartidos
- Cuestiones y preocupaciones clave del proyecto
- Un proceso formal de resolución de conflictos
- Un proceso de evaluación conjunto
- Una carta de colaboración

La publicación de la AGCA titulada *«Asociación: un concepto para el éxito»* (septiembre de 1991) ofrece información excelente y directrices para implementar la asociación.

Ventajas de la colaboración

[s]

Las ventajas de la colaboración son numerosas y muchas agencias la han adoptado como práctica habitual, entre ellas las de Arizona y el estado de Washington. Algunas de las ventajas que pueden obtener las agencias y los contratistas mediante la colaboración son las siguientes:

- Se reducen los litigios y se mejoran los plazos.
- Los registros de seguridad son, en general, mejores.
- Se contiene el crecimiento de los contratos
- Se reducen los costes administrativos (ya que se reduce la cantidad de documentación necesaria debido a la disminución del riesgo de litigios).
- Las comunicaciones son claras y se minimiza la necesidad de volver a trabajar.
- Todas las partes interesadas pueden disfrutar de un ambiente productivo en el que se hace hincapié en la resolución mutua de problemas y en los objetivos.

C.12 - Respaldo a la garantía de calidad Resumen

El apoyo conjunto de las agencias y la industria es uno de los ingredientes principales para la implementación del control de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte. Requiere un compromiso continuo por parte del personal de todos los niveles de cada organización.

Otras acciones tangibles que demuestran el apoyo conjunto de las agencias y la industria son la formación, la comunicación y la financiación. Estas actividades de apoyo garantizarán la implementación exitosa de un programa de garantía de calidad y el desarrollo y la aplicación adecuados de las especificaciones de garantía de calidad.

Hoy en día, la mayoría de las agencias estatales de transporte cuentan con programas de garantía de calidad para la construcción. El número de agencias que utilizan especificaciones de garantía de calidad aumentó durante la década de 1990. Además, los ajustes salariales (incentivos y/o desincentivos) se han convertido en un componente clave de la mayoría de las especificaciones de garantía de calidad de las agencias.

Algunos representantes de agencias y contratistas han expresado su preocupación por la implementación del control de calidad. Sin embargo, la mayoría de los comentarios obtenidos a través de encuestas recientes han sido muy positivos. En general, tanto la industria como las agencias perciben el control de calidad como un enfoque beneficioso para todas las partes.

- FIN DEL APÉNDICE C -

APÉNDICE D

Ejemplo de programa de cualificación de laboratorios

Apéndice D

Ejemplo de programa de cualificación de laboratorios

Resumen del apéndice

En este apéndice se ofrece un ejemplo de programa de cualificación de laboratorios del Programa de Certificación de Técnicos de Transporte de Nueva Inglaterra. El documento incluye los siguientes temas:

- Requisitos para la acreditación o cualificación de laboratorios
- Descripción del programa y organismos participantes
- Criterios del Programa de Certificación de Laboratorios NETTCP
- Descertificación de laboratorios del programa LCP de NETTCP
- Informe resumido de inspección del programa de certificación de laboratorios NETTCP

PROGRAMA DE CERTIFICACIÓN DE LABORATORIOS NETTCP

17 de mayo de 2007

I. Requisitos para la acreditación o cualificación de laboratorios:

La normativa federal sobre procedimientos de garantía de calidad para la construcción (23 CFR 637) establece los tres requisitos siguientes para la acreditación y cualificación de laboratorios:

- Laboratorio central de la agencia de transporte: debe estar acreditado a través del Programa de Acreditación de la AASHTO (AAP) antes del 30 de junio de 1997.

- Laboratorios consultores que realizan garantías independientes (IA) o resolución de disputas: deben estar acreditados por el AAP antes del 29 de junio de 2000.

- Contratistas, consultores y otros laboratorios de agencias de transporte (distintos del Laboratorio Central de la Agencia) que realizan muestreos y pruebas utilizados en la determinación de aceptación de la Agencia: deben estar «cualificados» a través de los programas apropiados establecidos por cada agencia de transporte antes del 29 de junio de 2000.

El Programa de Certificación de Técnicos de Transporte de Nueva Inglaterra (NETTCP) ha establecido el siguiente Programa de Certificación de Laboratorios (LCP) para abordar el requisito de laboratorios «cualificados» (véase el tercer punto anterior). Los laboratorios certificados a través del LCP del NETTCP se consideran «cualificados» según se define en 23CFR637 y no deben confundirse con un laboratorio «acreditado».

II. Descripción del programa y agencias participantes:

Los criterios aquí establecidos han sido acordados por las seis agencias de transporte por carretera de Nueva Inglaterra (CT, MA, ME, NH, RI, VT), sus correspondientes oficinas divisionales de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y la Administración Federal de Aviación (FAA). Este Programa de Certificación de Laboratorios será administrado por el NETTCP y aplicado por cada agencia de transporte de acuerdo con los procedimientos establecidos bajo los auspicios del NETTCP. Se han establecido las siguientes cinco categorías de laboratorios para el LCP del NETTCP:

1-P: Laboratorios permanentes de agencias de transporte (satélites/distritales/regionales/consultores) que realizan pruebas de aceptación (*véase la nota 1 más abajo*).

1-T: Laboratorios temporales de la agencia de transporte (proyecto/consultor) que realizan pruebas de aceptación (*véase la nota 1*).

2-P: Laboratorios permanentes de contratistas (planta/consultor) que:
Realizar pruebas de control de calidad (QC) que se incorporan en la decisión de aceptación (*véase la nota 1*); o
Son utilizadas por el personal de la Agencia para realizar pruebas de aceptación

2-T - Laboratorios temporales de contratistas (proyectos) que:
Realizan pruebas de control de calidad que se incorporan a la decisión de aceptación (*véase la nota 1*); o
Son utilizados por el personal de la Agencia para realizar pruebas de aceptación

3 - Laboratorios contratistas (permanentes o temporales) que solo realizan pruebas de control de calidad (*véase la nota 2 más abajo*).

Nota 1: *Los criterios establecidos en el presente documento para las categorías de laboratorio 1-P, 1-T, 2-P y 2-T son criterios mínimos a efectos del cumplimiento de la normativa federal. Las agencias de transporte pueden optar por utilizar requisitos de certificación adicionales, para cualquier tipo de laboratorio, con el fin de satisfacer sus necesidades particulares.*

Nota 2: *No se requiere la certificación de laboratorio de categoría 3 para cumplir con la normativa federal. Esta categoría se proporciona a las agencias de transporte que exigen unas cualificaciones mínimas para todos los laboratorios de control de calidad.*

A. Responsabilidades de la agencia de transporte

Cada agencia de transporte será responsable de implementar el Programa de Certificación de Laboratorios NETTCP de la siguiente manera:

- Cada agencia de transporte será responsable de inspeccionar todos los laboratorios de agencias de transporte, contratistas y consultores dentro de su estado, que se encuentren dentro de las categorías de laboratorio 1-P, 1-T, 2-P y 2-T anteriores. Si una agencia de transporte así lo decide, también puede inspeccionar los laboratorios de categoría 3. Cada inspección de laboratorio será realizada por la agencia de transporte o por el NETTCP, de acuerdo con los criterios del LCP del NETTCP que se incluyen en la sección III a continuación.

- Cada inspección de laboratorio se documentará en el informe resumido de inspección LCP del NETTCP (véase el informe resumido adjunto). Cada agencia de transporte utilizará listas de verificación de inspección detalladas y adecuadas (aceptables para el NETTCP) para completar el informe resumido de inspección LCP (nota: las listas de verificación de inspección están disponibles en el NETTCP). El informe resumido de inspección LCP completado indicará si el laboratorio cumple o no los criterios LCP del NETTCP.

- Se enviará una copia del Informe resumido de la inspección LCP al NETTCP para que lo archive e introduzca en la base de datos de certificación de laboratorios del NETTCP. La entidad que realice la inspección conservará la copia original de toda la documentación de la inspección completada (Informe resumido de la inspección LCP y las listas de verificación de la inspección).

- Cada laboratorio de categoría 1-P y 1-T de la Agencia de Transporte es responsable de garantizar el cumplimiento continuo de todos los requisitos del LCP del NETTCP. La Agencia de Transporte o el NETTCP pueden realizar en cualquier momento una inspección de seguimiento de cualquier laboratorio para determinar su conformidad con el LCP. A los laboratorios que se determine que no cumplen con el LCP del NETTCP se les suspenderá la certificación. Si las deficiencias identificadas no se corrigen en un plazo de 30 días, se revocará la certificación del laboratorio.

- El personal de IA del Laboratorio Central de la Agencia de Transporte realizará controles aleatorios del personal y el equipo en cada laboratorio certificado de las categorías 1-P, 1-T, 2-P y 2-T con una frecuencia mínima determinada por el Programa de Garantía Independiente aprobado por la Agencia de Transporte.

B. Responsabilidades del contratista/laboratorio consultor

Cada laboratorio contratista o consultor (categoría 2-P, 2-T o 3) que requiera la certificación a través del Programa de Certificación de Laboratorios NETTCP es responsable de lo siguiente:

- Cada laboratorio contratista/consultor debe ponerse en contacto con la Agencia de Transporte correspondiente o con el NETTCP para solicitar una inspección del laboratorio con un mínimo de 30 días naturales de antelación a la fecha de la inspección deseada. En caso de que la Agencia de Transporte no pueda realizar la inspección del laboratorio, el NETTCP puede proporcionar personal para llevar a cabo la inspección del laboratorio (véase la sección IIC más abajo).

- Cada laboratorio contratista/consultor debe pagar la tarifa de inspección de laboratorios del NETTCP, tal y como se indica en el Manual de políticas y procedimientos del NETTCP.

- Cada laboratorio contratista/consultor es responsable de garantizar el cumplimiento continuo de todos los requisitos del LCP del NETTCP.

C. Responsabilidades del NETTCP

El NETTCP será responsable de administrar el Programa de Certificación de Laboratorios del NETTCP de la siguiente manera:

- Cuando una agencia de transporte no pueda realizar la inspección de un laboratorio que solicite la certificación de laboratorio NETTCP, NETTCP proporcionará personal para llevar a cabo la inspección del laboratorio.

- NETTCP mantendrá una base de datos de certificación de laboratorios NETTCP y se encargará de introducir la información básica (nombre del laboratorio, ubicación, categoría del laboratorio, director del laboratorio, fecha de la inspección, materiales aptos para ser sometidos a ensayo, métodos de ensayo AASHTO/ASTM aptos para ser realizados) obtenida de los informes resumidos de inspección LCP de cada laboratorio inspeccionado.

- Una vez recibido el «Informe resumido de inspección» LCP completado, las listas de verificación de inspección completadas y la tarifa especificada por parte del laboratorio, NETTCP emitirá un «Certificado de certificación de laboratorio» a cada laboratorio que haya sido inspeccionado y que cumpla con los criterios LCP de NETTCP (*véase la nota 3 más abajo*). El certificado de certificación tendrá una validez máxima de un año e indicará:

  (1) El nombre del laboratorio
  (2) La ubicación del laboratorio
  (3) La categoría del laboratorio (1-P, 1-T, 2-P, 2-T o 3)
  (4) Los materiales (suelos, áridos, HMA, PCC) que el laboratorio está cualificado para analizar
  (5) Los métodos de ensayo específicos AASHTO/ASTM que está cualificado para realizar
  (6) El nombre de la entidad (agencia de transporte o NETTCP) que realizó la inspección de certificación
  (7) La fecha de la inspección

- NETTCP responderá a las preguntas o consultas relacionadas con el estado de la certificación de los laboratorios registrados individualmente y proporcionará el nombre y el número de teléfono del director o supervisor del laboratorio.

Nota 3: *Un laboratorio que posea un «Certificado de Certificación de Laboratorio NETTCP» ha demostrado que cumple los criterios contenidos en este LCP únicamente, y no criterios más estrictos que una agencia de transporte pueda decidir aplicar a un tipo determinado de laboratorio.*

III. Criterios del Programa de Certificación de Laboratorios NETTCP:

A. Requisitos generales (todos los laboratorios)

Los siguientes criterios se aplican a todos los laboratorios (categorías 1-P, 1-T, 2-P, 2-T y 3) que requieren certificación en virtud de este programa:

- El supervisor del laboratorio deberá tener un mínimo de 3 años de experiencia relevante en el ensayo de materiales de construcción para los que el laboratorio solicita la certificación.

- Todos los técnicos de laboratorio que realicen pruebas en proyectos de la Agencia, a menos que trabajen en calidad provisional bajo la supervisión directa de un técnico certificado por el NETTCP, deberán poseer una certificación NETTCP válida o estar cualificados a través de otro programa de certificación aprobado por la FAA para el muestreo y las pruebas que realicen.

- Las instalaciones del laboratorio deben albergar adecuadamente y permitir el funcionamiento correcto de todos los equipos de ensayo necesarios, de conformidad con los procedimientos de ensayo aplicables.

- Todo el equipo de pruebas de laboratorio se calibrará/verificará al menos una vez cada 12 meses, de acuerdo con los procedimientos de calibración aprobados por la AAP de la Agencia de Transporte. El laboratorio conservará la documentación completa de la calibración de todo el equipo de pruebas de laboratorio y la pondrá a disposición para su revisión.

- Se debe determinar que todo el equipo de pruebas de laboratorio funciona correctamente y se debe mantener en buen estado de funcionamiento en todo momento mientras el laboratorio realiza las pruebas.

- El laboratorio debe mantener un registro de todas las revisiones de la Agencia de Transporte IA recibidas que evaluaron al personal y los equipos de pruebas del laboratorio, incluidas las medidas de seguimiento adecuadas que se tomaron.

- El laboratorio debe mantener manuales de referencia actualizados, que contengan los procedimientos de ensayo estándar de la AASHTO/NETTCP y las políticas de la Agencia de Transporte/NETTCP para la manipulación, identificación, acondicionamiento, almacenamiento, conservación y eliminación de las muestras de ensayo para todos los ensayos realizados.

- Todos los resultados de las pruebas de laboratorio se registrarán utilizando los formularios de informe de pruebas (TRF) estándar del NETTCP o formularios equivalentes aceptables para la(s) agencia(s) de transporte responsable(s).

B. Laboratorios de categoría 1-P

Además de los «Requisitos generales» enumerados en la sección IIIA anterior, cada laboratorio permanente de la agencia de transporte (satélite/distrito/regional/consultor) deberá cumplir los siguientes criterios:

- Cada agencia de transporte establecerá un programa interno para garantizar la calidad de los resultados obtenidos por cada laboratorio de categoría 1-P. Este programa interno debe incluir, como mínimo, las siguientes actividades:

  (1) Todos los técnicos de laboratorio y el equipo de cada laboratorio de categoría 1-P serán evaluados con una frecuencia mínima determinada por el programa de garantía independiente aprobado por la agencia de transporte.

  (2) Cada laboratorio de categoría 1-P participará en un programa de pruebas de aptitud administrado por la Agencia de Transporte. El Laboratorio Central de la Agencia proporcionará muestras de aptitud con una frecuencia que no excederá los 12 meses para todas las pruebas de aceptación que realice cada laboratorio.

  Alternativamente, cada laboratorio de categoría 1-P podrá participar en el programa de muestreo de aptitud AMRL/CCRL para todas las pruebas de aceptación que realice el laboratorio.

  Todos los resultados de las muestras de aptitud se documentarán y se identificarán las causas de las discrepancias inaceptables. Se documentarán las medidas correctivas adoptadas por cada laboratorio de categoría 1-P.

C. Laboratorios de categoría 1-T

Además de los «Requisitos generales» enumerados en la sección IIIA anterior, cada laboratorio temporal de la Agencia de Transporte (Proyecto/Consultor) deberá cumplir los siguientes criterios:

- Cada agencia de transporte establecerá un programa interno para garantizar la calidad de los resultados obtenidos por cada laboratorio de categoría 1-T. Este programa interno deberá incluir, como mínimo, las siguientes actividades:

  (1) Todos los técnicos de laboratorio y equipos de cada laboratorio de categoría 1-T serán evaluados con una frecuencia mínima determinada por el Programa de Garantía Independiente aprobado por la Agencia de Transporte.

D. Laboratorios de categoría 2-P

Además de los «Requisitos generales» enumerados en la sección IIIA anterior, cada laboratorio permanente del contratista (planta/consultor) deberá cumplir los siguientes criterios:

- Cada agencia de transporte establecerá un programa interno para garantizar la calidad de los resultados obtenidos por cada laboratorio de categoría 2-P. Este programa interno deberá incluir, como mínimo, las siguientes actividades:

  (1) Todos los técnicos de laboratorio y el equipo de cada laboratorio de categoría 2-P serán evaluados con una frecuencia mínima determinada por el Programa de Garantía Independiente aprobado por la Agencia de Transporte.

  (2) Cada laboratorio de categoría 2-P debe someterse a pruebas de aptitud para verificar que su rendimiento sigue siendo aceptable. Esto puede lograrse de una de las siguientes maneras:

    (a) Se puede utilizar el Programa de Garantía Independiente de la Agencia de Transporte, si incorpora procedimientos para evaluar los resultados obtenidos con una frecuencia aprobada por la Oficina Divisional de la FHWA como parte del Programa de Garantía Independiente general.

    (b) El laboratorio puede participar en todos los programas de pruebas de aptitud de AMRL/CCRL relevantes para las pruebas que realiza el laboratorio. El laboratorio investigará para determinar la(s) causa(s) de cualquier calificación de aptitud de «2» o menos y aplicará las medidas correctivas indicadas. Se proporcionarán copias de todos los informes de AMRL/CCRL, junto con las respuestas del laboratorio, a la Agencia de Transporte para su revisión y aprobación.

    (c) El laboratorio podrá participar en un programa de pruebas de competencia establecido y gestionado por un laboratorio independiente acreditado por la AASHTO. El programa será de naturaleza similar al programa de pruebas de competencia de AMRL/CCRL y deberá ser aprobado tanto por la Agencia de Transporte como por la Oficina Divisional de la FHWA.

E. Laboratorios de categoría 2-T

Además de los «Requisitos generales» enumerados en la sección IIIA anterior, cada laboratorio temporal del contratista (proyecto) deberá cumplir los siguientes criterios:

- Cada agencia de transporte establecerá un programa interno para garantizar la calidad de los resultados obtenidos por cada laboratorio de categoría 2-T. Este programa interno deberá incluir, como mínimo, las siguientes actividades:

  (1) Todos los técnicos de laboratorio y el equipo de cada laboratorio de categoría 2-T serán evaluados con una frecuencia mínima determinada por el programa de garantía independiente aprobado por la agencia de transporte.

F. Laboratorios de categoría 3 (opcional)

Cualquier laboratorio contratista (permanente o temporal) que realice únicamente pruebas de control de calidad se considerará cualificado si cumple los «Requisitos generales» enumerados en la sección IIIA anterior.

IV. Descertificación de laboratorios del NETTCP LCP:

Todos los laboratorios que obtengan la certificación de conformidad con el NETTCP LCP deben garantizar que las instalaciones, el personal y las actividades de muestreo y ensayo del laboratorio cumplan en todo momento los requisitos aplicables de la sección III anterior. Según lo determine la agencia de transporte competente o el NETTCP, se suspenderá la certificación NETTCP de cualquier laboratorio certificado que incumpla los requisitos anteriores. Si las deficiencias detectadas no se corrigen en un plazo de 30 días, se revocará la certificación del laboratorio. La Agencia de Transporte notificará al laboratorio afectado y enviará una carta de explicación al NETTCP, detallando los motivos de la revocación de la certificación NETTCP. El NETTCP modificará sus registros en un plazo de 5 días hábiles tras la recepción de dicha carta. Las apelaciones de dicha revocación serán tramitadas por la Agencia de Transporte y el NETTCP.

Informe resumido de la inspección del Programa de Certificación de Laboratorios NETTCP

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO					
Nombre del laboratorio:			**N.º de certificación del laboratorio:**		
Ubicación del laboratorio					
Dirección					
Ciudad	Estado	Código postal			
N.º de teléfono	N.º de fax				
Gerente/supervisor del laboratorio:			**¿Número de certificación?**		
Categoría del laboratorio:	1-P □	1-T □	2-P □	2-T □	3 □
Materiales aptos para la prueba:	Suelos □	Áridos □	HMA □	PCC □	
Métodos de prueba AASHTO/ASTM calificados para realizar: (Adjunte la lista de verificación de inspección)					

REQUISITOS GENERALES (todas las categorías de laboratorio)		
◆ El director/supervisor del laboratorio tiene un mínimo de 3 años de experiencia relevante en el ensayo de materiales de construcción.	SÍ □	NO □
◆ Todos los técnicos de laboratorio que realizan ensayos en proyectos de la Agencia de Transporte, a menos que trabajen en calidad provisional bajo la supervisión directa de un técnico certificado por el NETTCP, posean una certificación NETTCP válida o estén cualificados a través de otro programa de certificación aprobado por la FHWA, para el muestreo y los ensayos que realizan.	SÍ □	NO □
◆ Las instalaciones del laboratorio albergan adecuadamente y permiten el funcionamiento correcto de todos los equipos de ensayo necesarios, de conformidad con los procedimientos de ensayo aplicables.	SÍ □	NO □
◆ Todo el equipo de pruebas de laboratorio ha sido calibrado/verificado al menos una vez en los últimos 12 meses, de acuerdo con los procedimientos de calibración aprobados por la Agencia de Transporte de la AAP. El laboratorio conserva la documentación completa de la calibración de todos los equipos de pruebas de laboratorio, que está disponible para su revisión.	SÍ □	NO □
◆ Se ha determinado que todos los equipos de ensayo de laboratorio funcionan correctamente y se mantienen en buen estado de funcionamiento en todo momento mientras el laboratorio realiza ensayos.	SÍ □	NO □
◆ El laboratorio mantiene un registro de todas las revisiones de la Agencia de Transporte IA recibidas en las que se evaluó al personal y al equipo de pruebas del laboratorio, incluidas las medidas de seguimiento adecuadas que se tomaron.	SÍ □	NO □

REQUISITOS GENERALES (- Continuación -)		
◆ El laboratorio mantiene manuales de referencia actualizados, que contienen los procedimientos de ensayo estándar de la AASHTO/NETTCP y las políticas de la Agencia de Transporte/NETTCP para la manipulación, identificación, acondicionamiento, almacenamiento, retención y eliminación de muestras de ensayo.	SÍ □	NO □
◆ Todos los resultados de las pruebas de laboratorio se registran utilizando los formularios estándar de informe de pruebas (TRF) del NETTCP o en formularios equivalentes aceptables para la(s) agencia(s) de transporte responsable(s).	SÍ □	NO □
REQUISITOS DE LABORATORIO DE CATEGORÍA 1-P, 1-T, 2-P Y 2-T		
◆ Todos los técnicos de laboratorio y el equipo del laboratorio han sido evaluados con una frecuencia mínima determinada por el aprobado por la agencia de transporte.	SÍ □	NO □
CATEGORÍA 1-P REQUISITOS DEL LABORATORIO		
◆ El laboratorio ha participado en un programa de pruebas de aptitud administrado por el Laboratorio Central de la Agencia de Transporte, o ha participado en el programa de pruebas de muestras de aptitud AMRL/CCRL, con una frecuencia que no exceda los 12 meses para todas las pruebas de aceptación realizadas por el laboratorio. Todos los resultados de las pruebas de aptitud se documentan y se identifican las causas de las discrepancias inaceptables. Se documentan las medidas correctivas adoptadas por el laboratorio.	SÍ □	NO □
REQUISITOS DEL LABORATORIO DE CATEGORÍA 2-P		
◆ El laboratorio participa en uno de los siguientes enfoques de pruebas de aptitud: (a) A través de procedimientos aprobados por la FHWA en el Programa de Garantía Independiente de la Agencia de Transporte. (b) Todos los programas de pruebas de aptitud de AMRL/CCRL relevantes para las pruebas realizadas por el laboratorio. El laboratorio ha investigado para determinar la(s) causa(s) de cualquier calificación de aptitud de «2» o menos y ha implementado las medidas correctivas indicadas. Se proporcionan copias de todos los informes de AMRL/CCRL, junto con las respuestas del laboratorio, a la Agencia de Transporte. (c) A través de un programa de pruebas de competencia establecido y gestionado por un laboratorio independiente acreditado por la AASHTO. El programa es similar al programa AMRL/CCRL y está aprobado tanto por la Agencia de Transporte como por la FHWA.	SÍ □	NO □
DETERMINACIÓN DE LA CERTIFICACIÓN		
Agencia inspectora:		
Inspeccionado por:	**Fecha de inspección:**	
◆ Este laboratorio cumple todos los requisitos pertinentes del NETTCP LCP	SÍ □	NO □

- FIN DEL APÉNDICE D -

APÉNDICE E

Requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad

Apéndice E

Requisitos típicos de las especificaciones de garantía de calidad

Los requisitos típicos para diversos aspectos de las especificaciones de garantía de calidad se describen a lo largo de los capítulos 5 y 6. Los ejemplos específicos de los requisitos de las especificaciones de garantía de calidad se incluyen en las especificaciones individuales de cada agencia. El sitio web de Especificaciones Nacionales de Carreteras (http://fhwapap04.fhwa.dot.gov/nhswp/index.jsp), creado y mantenido por la FHWA, ofrece una base de datos consultable de especificaciones emitidas por:

- AASHTO
- FHWA
- Agencias de transporte estatales individuales

- FIN DEL APÉNDICE E -

APÉNDICE F

Modelo típico de plan de control de calidad

Apéndice F

"Plan modelo de control de calidad" típico

Resumen del apéndice

El ***Modelo de Plan de Control de Calidad NETTCP*** que se incluye en este apéndice está pensado para servir como herramienta genérica que ayude a los contratistas a preparar planes de control de calidad completos y útiles. El Modelo de Plan de Control de Calidad sigue un formato estándar recomendado que incluye diez secciones independientes más apéndices. Cada sección aborda uno de los principales elementos del plan de control de calidad presentados en el capítulo 5 (sección 5.4). Estas secciones son :

- **Términos y definiciones (opcional)**
- **1.0 Ámbito de aplicación y especificaciones aplicables**
- **2.0 Organización del control de calidad**
- **3.0 Laboratorios de control de calidad**
- **4.0 Control de materiales**
- **5.0 Muestreo y pruebas de control de calidad**
- **6.0 Instalaciones de producción**
- **7.0 Operaciones de campo**
- **Anexos**

Se recomienda que las agencias de transporte adopten el formato (encabezados de secciones y subsecciones) proporcionado en el Plan de control de calidad modelo NETTCP como norma que deben seguir los contratistas.

El Plan de Control de Calidad Modelo que se presenta aquí es un ejemplo de un Plan de Control de Calidad de Movimiento de Tierras completado para un proyecto ficticio de construcción de transporte a gran escala. Los Planes de Control de Calidad para otros materiales (por ejemplo, HMA, PCC, etc.) pueden desarrollarse siguiendo el mismo formato estándar (encabezados de secciones y subsecciones) proporcionado en el Plan de Control de Calidad Modelo.

El nivel de detalle de la información de cualquier plan de control de calidad variará, obviamente, en función del tamaño y la complejidad de cada proyecto de construcción. Como mínimo, todo el texto resaltado en amarillo (sombreado en gris) a lo largo del modelo de plan de control de calidad deberá sustituirse o eliminarse para reflejar la información específica de control de calidad relacionada con un proyecto determinado.

Nota
Todos los planes de control de calidad deben incluir ejemplos de formularios e informes que el contratista utilizará para documentar y comunicar los resultados de la supervisión del control de calidad a la agencia de transporte.
Estos documentos de muestra pueden aparecer como apéndices del plan de control de calidad. Las muestras incluidas variarán de un plan a otro en función del tipo de proyecto. Por ejemplo, en el modelo ficticio que se presenta aquí para movimientos de tierra, varios documentos de muestra se nombran como apéndices del plan:

- Lista de planos del proyecto
- Formularios de muestreo y ensayo para la caracterización de la fuente de materiales
- Formularios de informes de pruebas estándar
- Calendario semanal de operaciones de producción
- Formularios de informe de inspección estándar para el control de calidad de la producción
- Calendario semanal de operaciones de colocación de materiales
- Gráficos de control utilizados para la colocación de materiales
- Formularios estándar de informes de inspección para el control de calidad en campo

Cada plan de control de calidad debe incluir muestras de formularios e informes adecuados al tipo de proyecto.

Proyecto de construcción de la carretera estatal
99 Anytown, EE. UU.
Contrato de la Agencia de Transporte #54321

ABC Contractors, Inc.

NETTCP
MODEL QC PLAN

Plan de control de calidad de la construcción

Sección 1- Movimiento de tierras

2 de diciembre de 2003

Presentado por: _____ _____
ABC Contractors, Inc. **Fecha**

Aprobado por: _____ _____
Agencia de Transporte **Fecha**

Sección 1: Movimiento de tierras

Este Plan de Control de Calidad (Plan QC) identifica los recursos y procedimientos específicos que utilizará ABC Contractors para controlar la calidad de todos los materiales de movimiento de tierras y garantizar que todos los trabajos asociados se completen de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Los siguientes términos y definiciones son aplicables a este Plan de Control de Calidad:

- **Pruebas de información del contratista (CIT)**: pruebas que se realizan a discreción del inspector de control de calidad (no aleatorias) para obtener información que sirva de guía para la producción o la colocación in situ del material.

- **Franja de control**: área de movimiento de tierras situada al comienzo de cada nueva operación de movimiento de tierras que se utiliza para establecer el patrón de apisonado y el esfuerzo de compactación necesarios para alcanzar la densidad objetivo in situ con un contenido de humedad óptimo.

- **Sección de la franja de control**: una de las tres partes aproximadamente iguales de una franja de control que se colocan secuencialmente y se someten a pruebas para determinar la densidad in situ y el contenido de humedad.

- **Piedra triturada**: material de movimiento de tierras procesado que se utiliza para ‘’terraplenes bajo cimientos de puentes’’ y que cumple los requisitos de especificación de materiales contenidos en la subsección M2.01.0.

- **Excavación de tierra**: material de movimiento de tierras, obtenido de la actividad de excavación (corte) in situ, que se utiliza para el ‘’material de terraplén de carreteras’’, que cumple los requisitos de especificación de materiales contenidos en la sección M1.01.0 (préstamo ordinario) y que contiene hasta un 50 % de cantos rodados o fragmentos de roca con un tamaño máximo de 600 milímetros en su dimensión mayor.

- **Control de calidad en campo (FQC)**: todas las actividades de muestreo, ensayo e inspección realizadas para controlar la calidad de las operaciones de colocación en campo.

- **Grava de préstamo**: material de movimiento de tierras, obtenido ya sea de la actividad de excavación (corte) in situ o de productores de préstamos fuera del sitio, que se utiliza para ‘’material de terraplén de carreteras’’, ‘’terraplén bajo cimientos de puentes’’ o ‘’material de relleno para estructuras y tuberías’’, y que cumple con los requisitos de especificación de materiales contenidos en la subsección M1.03.0.

- **Préstamo ordinario**: material de movimiento de tierras, obtenido bien de la excavación (corte) in situ, bien de productores de préstamos fuera del emplazamiento, que se utiliza como ‘’material de terraplén para carreteras’’ y que cumple los requisitos de especificación de materiales contenidos en la subsección M1.01.0.

- **Productor**: subcontratista que suministra materiales ‘’producidos para el proyecto’’ o materiales ‘’fabricados comercialmente’’ para su incorporación a la obra.

- **Control de calidad de la producción (PQC)**: todas las actividades de muestreo, ensayo e inspección realizadas por ABC Contractors o sus productores para controlar la calidad del material producido en las instalaciones de producción.

- **Excavación de rocas**: material de movimiento de tierras, obtenido de la actividad de excavación (corte) in situ, que se utiliza como ‘’material de relleno para excavación de escombros’’ o ‘’material de terraplén de carreteras’’, y que se compone de cantos rodados o fragmentos de roca con un tamaño máximo de 1 metro en su dimensión mayor.

- **Caracterización de la fuente (SC)**: muestreo y pruebas realizados para determinar el ‘’tipo de material de movimiento de tierras’’ específico que contiene una ubicación de fuente de material individual (in situ o fuera del sitio).

- **Cuadrante de origen**: área de límites definidos en una ubicación de origen de material de movimiento de tierras (in situ o fuera del sitio) que ha sido evaluada mediante muestreo y pruebas de caracterización de origen.

- **Préstamo especial**: material de movimiento de tierras, obtenido bien de la actividad de excavación (corte) in situ, bien de productores de préstamos externos, que se utiliza como ‘’material de relleno para excavación de escombros’’ o ‘’material de terraplén de carreteras’’ y que cumple los requisitos de especificación de materiales contenidos en la subsección M1.02.0.

1.0 ÁMBITO DE APLICACIÓN Y ESPECIFICACIONES APLICABLES

Las especificaciones pertinentes para todas las actividades de movimiento de tierras se indican a continuación.

1.1 – Especificaciones estándar

Este plan de control de calidad se aplica a todos los trabajos cubiertos por las siguientes secciones de las especificaciones estándar de la Agencia de Transporte para Carreteras y Puentes, edición métrica de 1995:

- División II - Sección 150: Terraplenes
- División II - Sección 170: Nivelación
- División III - Sección M1: Suelos y materiales de préstamo, limitado a:
  - Subsección M1.01.0 Préstamo ordinario
  - Subsección M1.02.0 Préstamo especial
  - Subsección M1.03.0 Préstamo de grava (tipo a)
  - Subsección M1.04.0 Préstamo de arena (Tipo b)
  - Subsección M1.08.0 Préstamo de suelo impermeable
- División III - Sección M2: Áridos y materiales relacionados, limitados a:
  - Subsección M2.01.0 Piedra triturada
  - Subsección M2.01.1 Requisitos de clasificación (37,5 mm)

1.2 – Especificaciones complementarias

Especificaciones complementarias de la Agencia de Transporte, 23 de diciembre de 1998, edición métrica, aplicables a los trabajos contemplados en este plan de control de calidad, incluyen:

- División II - Sección 150: Terraplén
- División II - Sección 170: Clasificación

1.3 – Disposiciones especiales del proyecto

Las disposiciones especiales aplicables a los trabajos contemplados en este plan de control de calidad incluyen:

- División II - Sección 150: Terraplenes (26 de junio de 2001)
  - Subsección 150.20 General
  - Subsección 150.66 Grava para cimentaciones de puentes
  - Subsección 150.69 Piedra triturada para entradas de construcción estabilizadas
  - Subsección 150.70 Grava para aceras
  - Subsección 150.72 Control de la sedimentación

1.4 – Planos del proyecto

ABC Contractors mantendrá una lista actualizada de los planos aplicables a todos los trabajos contemplados en este plan de control de calidad. La ‘’Lista de planos del proyecto’’ se actualizará y se enviará mensualmente a la Agencia de Transporte en formato electrónico. En el apéndice__se incluye un ejemplo de la ‘’Lista de planos del proyecto: Sección 1 - Movimiento de tierras’’ (véase la nota de la página F-3).

1.5 – Planos estándar

Todos los planos estándar relacionados con movimientos de tierra contenidos en los Detalles estándar de construcción y tráfico de la Agencia de Transporte (1996) son aplicables a los trabajos contemplados en este plan de control de calidad.

2.0 ORGANIZACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD

El personal y sus correspondientes responsabilidades para todas las actividades de control de calidad de los movimientos de tierra se indican a continuación.

2.1 – Gerente del plan de control de calidad

El director del plan de control de calidad es el Sr.''Director del plan'', ingeniero profesional. Trabaja para ABC Contractors, Inc. (ABC Contractors). El Sr. ''Director del plan'' se encuentra en la oficina del proyecto ABC Contractors State Route 99 en Anytown, EE. UU., y se puede contactar con él de la siguiente manera:

Teléfono de la oficina: (508) 123-4567
Teléfono móvil: (508) 123-4568
Buscapersonas: (508) 123-4500

El gestor del plan de control de calidad tiene la responsabilidad y la autoridad sobre los siguientes aspectos:

- Elaboración y presentación de este plan de control de calidad para su aprobación por parte de la agencia de transporte
- Coordinación general del personal que realiza inspecciones de control de calidad, muestreos y pruebas en todas las instalaciones de producción externas, laboratorios de control de calidad y operaciones de campo in situ
- Aprobación de las fuentes de materiales antes del inicio de cualquier trabajo relacionado contemplado en este plan de control de calidad
- Garantizar que los productores cuenten con las certificaciones requeridas y con personal y laboratorios cualificados
- Cumplimiento íntegro de todos los requisitos y actividades de control de calidad contenidos en este plan de control de calidad
- Iniciar la suspensión del trabajo y determinar las medidas correctivas adecuadas cuando las pruebas o inspecciones identifiquen materiales o construcciones no conformes tal y como se describe en las secciones 6.5 y 7.6 más adelante
- Revisión y evaluación de toda la documentación de control de calidad en cuanto a contenido e integridad
- Mantenimiento del ''Sistema de registro de control de calidad: movimientos de tierra'' de conformidad con la sección 5.5 a continuación
- Preparación y presentación de un ''Informe semanal resumido de control de calidad'' a la Agencia de Transporte en un plazo de 7 días naturales tras la finalización del periodo de informe

2.2 – Personal cualificado de control de calidad de las instalaciones de producción externas

El personal asignado para realizar el muestreo, las pruebas y la inspección de control de calidad de los materiales de movimiento de tierras en las instalaciones de producción externas será el que se indica en la tabla siguiente. En el ‘’Informe semanal resumido de control de calidad’’ se incluirá una lista actualizada del personal cualificado de control de calidad de las instalaciones de producción externas.

Segmento del proyecto	Puesto de control de calidad	Personal - Empresa	Cualificaciones
1, 2, 3	Inspector de suelos	Varios: productores (véase el informe semanal de control de calidad)	NETTCP Suelos y áridos. (véase el informe semanal) (Ver informe semanal)

Las actividades de control de calidad fuera de las instalaciones realizadas por los contratistas ABC se programarán según sea necesario y, por lo general, implicarán la recogida de muestras para pruebas de caracterización de la fuente de los posibles productores de materiales de movimiento de tierras.

Cuando los productores de materiales de movimiento de tierras dispongan de su propio personal y laboratorios cualificados para el control de calidad, ABC Contractors podrá utilizar los resultados de las inspecciones y pruebas de control de calidad del productor. En tales casos, el productor realizará el muestreo y las pruebas de caracterización de la fuente de acuerdo con los métodos y frecuencias de prueba requeridos que se describen en la sección 4.0 más adelante.

El personal de control de calidad de las instalaciones de producción fuera del emplazamiento tiene la responsabilidad y la autoridad para lo siguiente:

- Obtener muestras aleatorias de caracterización de la fuente de materiales de movimiento de tierras en cada instalación de producción
- Inspeccionar las operaciones de producción de movimiento de tierras en cada instalación de producción
- Preparar y firmar los formularios estándar de informe de inspección de control de calidad para cada lugar de producción
- Identificar las prácticas o materiales de las instalaciones de producción que no se ajustan a los requisitos de las especificaciones pertinentes y del presente Plan de Control de Calidad, y discutirlas medidas correctivas adecuadas con el superintendente de la planta de producción y el director de control de calidad
- Suspender el transporte de materiales de movimiento de tierras a los lugares de colocación in situ cuando los materiales no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes o cuando se haya determinado que es necesario aplicar medidas correctivas y estas no se hayan aplicado

2.3 – Personal cualificado del laboratorio de control de calidad

El personal asignado para realizar el muestreo y las pruebas de laboratorio de control de calidad de los materiales de movimiento de tierras se identifica en la tabla siguiente. En el ''Informe semanal de control de calidad'' se incluirá una lista actualizada del personal cualificado del laboratorio de control de calidad.

Segmento del proyecto	Puesto de control de calidad	Personal – Empresa	Cualificaciones
1, 2, 3	Supervisor de laboratorio (ABC Contractors Anytown, EE. UU.)	Bob Supervisor – XYZ	Técnico de suelos y áridos NETTCP #SAT 100
1, 2, 3	Técnico de laboratorio	Cathy, técnico – XYZ	Técnico de suelos y agregados NETTCP #SAT 190
1, 2, 3	Técnico de laboratorio	Mike Técnico – XYZ	Inspector de suelos y áridos NETTCP #SAI 450

El personal del laboratorio de control de calidad tiene la responsabilidad y la autoridad sobre los siguientes aspectos:

- Muestreo de materiales de movimiento de tierras
- Pruebas de laboratorio de materiales de movimiento de tierras
- Preparación y firma de los formularios de informe de pruebas (TRF) estándar para cada prueba completada
- Almacenamiento adecuado de todas las muestras de materiales de movimiento de tierras
- Identificar los resultados de las pruebas de materiales de movimiento de tierras que no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes y del presente Plan de Control de Calidad, y discutirlos con el responsable de control de calidad

2.4 – Personal cualificado de control de calidad in situ

El personal asignado para realizar el muestreo, las pruebas y la inspección de control de calidad in situ de los materiales de movimiento de tierras se identifica en la tabla siguiente. En el informe semanal de control de calidad se incluirá una lista actualizada del personal cualificado de control de calidad in situ.

Segmento del proyecto	Puesto de control de calidad	Personal - Empresa	Cualificaciones
1	Inspector jefe de control de calidad	Kevin Boulder – XYZ	Inspector de suelos y áridos NETTCP n.º SAI 491
2	Inspector jefe de control de calidad	George Troxler – XYZ	***Actualmente sin certificación NETTCP***
3	Inspector jefe de control de calidad	Mike Gravel – XYZ	***Actualmente no certificado por NETTCP***
1, 2, 3	Inspector de suelos	Varios – XYZ (Véase el informe semanal de control de calidad)	NETTCP Suelos y áridos. (véase el informe semanal de control de calidad)

El personal de control de calidad in situ tiene la responsabilidad y la autoridad para lo siguiente:

- Obtener muestras aleatorias de materiales de movimiento de tierras para realizar pruebas de laboratorio
- Realizar muestreos y pruebas in situ de los movimientos de tierra
- Preparar y firmar los formularios de informe de pruebas (TRF) estándar para cada prueba completada
- Inspeccionar las operaciones de producción y colocación de movimientos de tierra in situ.
- Preparar y firmar formularios estándar de informe de inspección de control de calidad para cada lugar de colocación.
- Identificar las prácticas o materiales de colocación in situ que no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes y del presente plan de control de calidad, y discutir las medidas correctivas adecuadas con el superintendente de campo del segmento y el gerente de control de calidad.
- Suspender la colocación de materiales de movimiento de tierras cuando estos no cumplan con los requisitos de las especificaciones pertinentes o cuando se haya determinado que es necesario tomar medidas correctivas se han determinado necesarias y no se han implementado.

3.0 LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD

Los laboratorios de control de calidad que se utilizarán para todos los materiales de movimiento de tierras y sus correspondientes responsabilidades de ensayo se indican a continuación.

3.1 – Laboratorio de control de calidad primario cualificado

El laboratorio de control de calidad primario responsable de realizar el muestreo y las pruebas de los materiales de movimiento de tierras se identifica en la tabla siguiente.

Segmento del proyecto	Laboratorio	Ubicación	Cualificaciones
1, 2, 3	ABC Contractors Proyecto de la Ruta Estatal 99 Laboratorio	Anytown, EE. UU.	Programa de cualificación de laboratorios NETTCP – Categoría 2-T: Suelos, áridos (***MM/DD/YY***)

El Laboratorio del Proyecto ABC Contractors State Route 99 es responsable de realizar pruebas de todos los materiales de movimiento de tierras in situ, así como pruebas de cualquier material prestado fuera del sitio. Este laboratorio realizará las siguientes pruebas en los materiales de movimiento de tierras:

- Clasificación del suelo — AASHTO M145
- Gradación — AASHTO T11 y T27
- Límite líquido — AASHTO T89
- Límite plástico/Índice de plasticidad — AASHTO T90
- Contenido óptimo de humedad — AASHTO T99 y AASHTO T180
- Densidad seca máxima — AASHTO T99 y AASHTO T180
- Corrección de partículas gruesas — AASHTO T224
- Análisis del tamaño de grano — AASHTO T311

3.2 – Laboratorios subcontratistas o consultores cualificados

En la tabla siguiente se identifican otros laboratorios subcontratistas o consultores cualificados que realizarán el muestreo y las pruebas de control de calidad de los materiales de movimiento de tierras.

Segmento del proyecto	Laboratorio	Ubicación	Cualificaciones
1, 2, 3	Laboratorio de la empresa XYZ	Soil City, EE. UU.	Programa de acreditación AASHTO: Suelos (15/08/00)

El Laboratorio de la empresa XYZ en Soil City, EE. UU., servirá de respaldo para ayudar al Laboratorio de Control de Calidad Primario a realizar pruebas de todos los materiales de movimiento de tierras in situ, así como pruebas de cualquier material extraído fuera del emplazamiento para terraplenes. Este laboratorio realizará las siguientes pruebas en los materiales de movimiento de tierras:

- Clasificación del suelo — AASHTO M145
- Gradación — AASHTO T11 y T27
- Límite líquido — AASHTO T89
- Límite plástico/Índice de plasticidad — AASHTO T90
- Desgaste máximo (abrasión LA) — AASHTO T96
- Contenido óptimo de humedad — AASHTO T99 y AASHTO T180
- Densidad seca máxima — AASHTO T99 y AASHTO T180
- Corrección de partículas gruesas — AASHTO T224
- Análisis del tamaño de grano — AASHTO T311

4.0 CONTROL DE MATERIALES

A continuación se indican los tipos, fuentes, propiedades y procedimientos de almacenamiento de los materiales que se utilizarán para cada categoría de movimiento de tierras.

4.1 – Tipos de materiales y fuentes de suministro

Los materiales de movimiento de tierras se clasificarán según las siguientes categorías de elementos de movimiento de tierras:

- Material de relleno para excavación de escombros
- Material de terraplén para carreteras
- Material de terraplén bajo cimientos de puentes
- Material de relleno para estructuras
- Material de relleno para tuberías

4.1.1 – Material de relleno para excavación de escombros

Los tipos y fuentes potenciales de material identificados actualmente para su uso como material de relleno para excavación de escombros se enumeran en la tabla siguiente.

Material de relleno para excavación de escombros	
Tipo de material	**Fuente del material**
Excavación de roca	• En el lugar, segmento 1, mediana de la Ruta 99 • En el lugar, segmento 3, mediana de la Ruta 99
Préstamo especial	• En el lugar, segmento 1 • En el lugar, segmento 2 • Productor de préstamo (***TBD***)

ABC Contractors presentará información actualizada sobre los tipos y fuentes de material de relleno para la excavación de escombros como parte del calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras, tal y como se describe en la sección 6.1 más adelante.

4.1.2 – Material para terraplenes de carreteras

Los tipos y fuentes de materiales identificados actualmente para su uso en terraplenes de carreteras se enumeran en la tabla siguiente. En este momento, parece que hay cantidades suficientes de tierra excavada, roca excavada, material de relleno ordinario y grava de relleno disponibles in situ para la construcción de terraplenes de carreteras. Si los contratistas de ABC determinan que es necesario recurrir a fuentes externas para obtener estos materiales, la tabla se actualizará para reflejar dichas fuentes.

Material para terraplenes de carreteras	
Tipo de material	**Fuente del material**
Excavación de roca	• En el lugar, segmento 1, mediana de la Ruta 99 • En el lugar, segmento 3, mediana de la Ruta 99
Excavación de tierra	• En el lugar, segmento 1, mediana de la Ruta 99 • En el lugar, segmento 3, mediana de la Ruta 99
Préstamo ordinario	• En el lugar, segmento 1 • En el lugar, segmento 2 • En el lugar, segmento 3 • Productor de préstamo ***(TBD)***
Préstamo de grava	• En el sitio, segmento 1 • En el lugar, segmento 3 • Productor de préstamo (***TBD***)
Préstamo especial	• En el lugar, segmento 1 • In situ, segmento 2 • Productor prestado (***TBD***)

ABC Contractors presentará información actualizada sobre los tipos y fuentes de material de terraplenado de carreteras como parte del calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras, tal y como se describe en la sección 6.1 más adelante.

4.1.3 – Material de terraplenaje bajo los cimientos de los puentes

Los tipos y las posibles fuentes de material identificados actualmente para su uso como material de terraplén bajo los cimientos de los puentes se enumeran en la tabla siguiente.

Material de terraplenaje bajo los cimientos de los puentes	
Tipo de material	**Fuente del material**
Grava de préstamo	• ***Productor de grava (TBD)***
Piedra triturada	• ***Productor de grava (TBD)***

ABC Contractors presentará información actualizada sobre los tipos y fuentes de material de terraplenado bajo los cimientos de los puentes como parte del «Calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras», tal y como se describe en la sección 6.1 más adelante.

4.1.4 – Material de relleno para estructuras

Los tipos y fuentes potenciales de material actualmente identificados para su uso como material de relleno para estructuras se enumeran en la tabla siguiente.

Material de relleno para estructuras	
Tipo de material	**Fuente del material**
Grava de préstamo	• **Productor de grava (TBD)**

ABC Contractors presentará información actualizada sobre los tipos y fuentes del material de relleno para estructuras como parte del calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras, tal y como se describe en la sección 6.1 más adelante.

4.1.5 – Material de relleno para tuberías

Los tipos y las posibles fuentes de material identificados actualmente para su uso como material de relleno para tuberías se enumeran en la tabla siguiente.

Material de relleno para tuberías	
Tipo de material	**Fuente del material**
Préstamo ordinario	• En el lugar, segmento 1 • En el lugar, segmento 2 • In situ, segmento 3 • Productor del préstamo (***TBD***)
Préstamo de grava	• ***Productor prestado (TBD)***

ABC Contractors presentará información actualizada sobre los tipos y fuentes de material de relleno para tuberías como parte del ‘’Calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras’’, tal y como se describe en la sección 6.1 más adelante.

4.2 – Propiedades de los materiales

La caracterización de la fuente de los materiales de movimiento de tierras y los diseños de mezclas se realizarán como se describe a continuación.

4.2.1 – Caracterización de la fuente de materiales, muestreo y pruebas

Contratista ABC caracterizará completamente los materiales de movimiento de tierras antes de su uso en la ubicación prevista. Se establecerán y mantendrán cuadrículas en cada ubicación de origen de los materiales de movimiento de tierras para identificar los «cuadrantes». Cada cuadrante se numerará para la identificación de la caracterización de la fuente (por ejemplo, SC-1, SC-2, SC-99, etc.). Contratista ABC presentará los resultados de las pruebas de caracterización de la fuente para cada cuadrante de origen del material de movimiento de tierras a la Agencia de Transporte como mínimo dos (2) días naturales antes de la colocación de cualquier material del cuadrante de origen. En la siguiente tabla se identifican las pruebas específicas de caracterización de la fuente que se realizarán en todos los materiales de movimiento de tierras.

Caracterización de la fuente del material: muestreo y pruebas			
Tipo de material	**Característica analizada**	**Método de prueba**	**Frecuencia de la prueba**
Excavación de roca	Tamaño máximo (< 1 m)	Visual/Cinta	Mínimo 4/día/cuadrante
Excavación de tierra (M1.01.0 modificado) (contiene rocas < 600 mm)	Clasificación del suelo	AASHTO M 145	Mínimo 4/cuadrante
	Límite líquido	AASHTO T89	Mínimo 4/Cuadrante
	Límite plástico/ PI	AASHTO T90	Mínimo 4/Cuadrante
	Densidad seca máxima	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/Cuadrante
	Contenido óptimo de humedad	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/cuadrante
	Partículas gruesas Corrección	AASHTO T 224	Mínimo 4/cuadrante
	Análisis del tamaño de grano	AASHTO T 311	Mínimo 4/Cuadrante
Préstamo ordinario (M1.01.0)	Clasificación del suelo	AASHTO M 145	Mínimo 4/Cuadrante
	Límite líquido	AASHTO T89	Mínimo 4/Cuadrante
	Límite plástico/ PI	AASHTO T90	Mínimo 4/Cuadrante
	Densidad seca máxima	AASHTO T 99 (Método C)	Mínimo 4/Cuadrante
	Contenido óptimo de humedad	AASHTO T 99 (Método C)	Mínimo 4/Cuadrante
	Partículas gruesas Corrección	AASHTO T 224	Mínimo 4/cuadrante
	Análisis del tamaño de grano	AASHTO T 311	Mínimo 4/cuadrante
Grava de préstamo (M1.03.0)	Clasificación del suelo	AASHTO M 145	Mínimo 4/Cuadrante
	Gradación	AASHTO T 11, T27	Mínimo 4/Cuadrante
	Densidad seca máxima	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/Cuadrante
	Contenido óptimo de humedad	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/cuadrante

Caracterización de la fuente del material Muestreo y ensayo (-Continuación-)			
Tipo de material	**Característica analizada**	**Método de ensayo**	**Frecuencia de ensayo**
Préstamo Especial (M1.02.0)	Clasificación del suelo	AASHTO M 145	Mínimo 4/cuadrante
	Gradación	AASHTO T 11, T27	Mínimo 4/Cuadrante
	Límite plástico/ PI	AASHTO T90	Mínimo 4/Cuadrante
	Densidad seca máxima	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/Cuadrante
	Contenido óptimo de humedad	AASHTO T 180 (Método D)	Mínimo 4/cuadrante
	Porcentaje máximo de desgaste (abrasión LA)	AASHTO T 96	Mínimo 4/cuadrante
Piedra triturada (M2.01.0)	Clasificación del suelo	AASHTO M 145	Mínimo 1/10 000 m^3
	Gradación	AASHTO T 11, T27	Mínimo 1/10 000 m^3
	Porcentaje máximo de desgaste (abrasión LA)	AASHTO T 96	Mínimo 1/10 000 m^3
	Partículas planas y alargadas	ASTM D 4791	Mínimo 1/10 000 m^3

Todas las muestras para la caracterización de la fuente de movimiento de tierras se obtendrán aleatoriamente de acuerdo con la norma ASTM D3665. Las ubicaciones aleatorias de las muestras dentro de cada cuadrante de origen se determinarán por estación, desplazamiento y elevación dentro del cuadrante. Todas las ubicaciones aleatorias de las muestras se documentarán en el formulario de informe de prueba estándar NETTCP D3665 o D3665RNG. En el apéndice__se encuentra una copia de estos formularios de muestreo aleatorio (véase la nota, página F-3).

Todas las muestras de fuentes de movimiento de tierras se obtendrán siguiendo la norma AASHTO T2 y se dividirán de acuerdo con la norma AASHTO T248.

Todos los resultados de las pruebas y el muestreo de caracterización de fuentes se documentarán en los siguientes formularios de informe de pruebas estándar (TRF):

Formularios estándar de informe de pruebas de caracterización de fuentes	
N.º de formulario	Título del formulario
M145-T89-T90	Clasificación de suelos (incluye límite líquido y límite plástico)
NETTCP T27	Informe de ensayo de análisis granulométrico
NETTCP T96	Resistencia a la degradación del agregado mediante ensayo de abrasión Informe
T99	Relaciones entre humedad y densidad de los suelos (norma)
T180	Relaciones entre humedad y densidad de los suelos (modificado)
T311	Análisis granulométrico de materiales granulares del suelo
Tamaño de las rocas	Evaluación del tamaño máximo de roca en materiales de movimiento de tierras

En el apéndice «__» (Véase la nota, página F-3) se incluye una copia de las TRF estándar utilizadas para el muestreo y las pruebas de caracterización de fuentes.

4.2.2 – Diseños de mezclas

Por lo general, no se requieren «diseños de mezcla» para los materiales de movimiento de tierras. Las pruebas de caracterización de la fuente determinarán si las fuentes específicas de materiales de movimiento de tierras cumplen los requisitos de especificación para un tipo de material concreto requerido (es decir, préstamo ordinario, préstamo de grava, préstamo especial, etc.).

4.3 – Procesamiento de materiales existentes

Cuando se determine que la excavación in situ propuesta para su uso en movimientos de tierra no cumple los requisitos especificados, se seguirán los siguientes procedimientos para procesar o mezclar el material con el fin de cumplir los requisitos de un tipo específico de material para movimientos de tierra:

- El laboratorio del proyecto desarrollará un «diseño de mezcla» de material mezclado.
- Se mezclará una reserva de material excavado, que no superará la producción de un día, con otro material según el «diseño de la mezcla».
- Una vez completada la mezcla de la reserva, se obtendrán muestras y se realizarán pruebas de caracterización de la fuente para confirmar que el material mezclado cumple los requisitos de las especificaciones.

4.4 – Almacenamiento y apilamiento de materiales

Todos los materiales de movimiento de tierras se almacenarán y mantendrán adecuadamente para evitar la contaminación o la mezcla de diferentes materiales. Los procedimientos de almacenamiento y acopio serán los siguientes:

- Los límites de cada lugar de almacenamiento o acopio se marcarán claramente con estacas de nivelación legibles que indiquen el número de caracterización de la fuente correspondiente (es decir, SC-1, SC-2, etc.) que figura en el «Registro de caracterización de fuentes de suelos» del proyecto.
- Todas las pilas de almacenamiento activas/en uso de materiales de movimiento de tierras se caracterizarán de acuerdo con la sección 4.2.1 anterior, como mínimo una vez por semana.

5.0 MUESTREO Y ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD

Los requisitos y procedimientos que se utilizarán para el muestreo y las pruebas de control de calidad de los movimientos de tierra se indican a continuación.

5.1 – Tamaños de lotes y sublotes

Cada lote de material de movimiento de tierras representará material procedente de la misma fuente, se producirá u obtendrá mediante el mismo proceso controlado y poseerá propiedades de especificación distribuidas normalmente. Cada lote se dividirá en sublotes de igual tamaño con el fin de evaluar las características de calidad del lote. El tamaño del lote y el tamaño correspondiente del sublote para cada elemento de movimiento de tierras se identifican en la siguiente tabla.

Tamaños de lotes y sublotes de movimiento de tierras			
Elemento de movimiento de tierras	**Tipo(s) de material**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote**
Material de relleno para excavación de escombros (Sección 150.65)	• Excavación de roca • Préstamo especial	Cantidad total (m^3) de material de relleno por tipo, por origen del material, por segmento del proyecto	(Véase la tabla 5.4.1)
Material de terraplén de carretera (Sección 150.62 y Sección 150.63)	• Excavación de roca • Excavación de tierra • Préstamo ordinario • Préstamo de grava • Préstamo especial	Cantidad total (m^3) de material de terraplén por tipo, por fuente de material y por segmento del proyecto	(Véase la tabla 5.4.2)
Material de terraplén bajo los cimientos del puente (Sección 150.66 y sección 150.67)	• Préstamo de grava • Piedra triturada	Cantidad total (m^3) de material de terraplén, por tipo de material, por fuente de material, por segmento del proyecto	(Véase la tabla 5.4.3)
Material de relleno para estructuras (Sección 150.64)	• Grava de préstamo	Cantidad total (m^3) de material de relleno, por tipo de material, por fuente de material, por segmento del proyecto	(Véase la tabla 5.4.4)
Material de relleno para tuberías (Sección 150.64)	• Grava de préstamo • Préstamo ordinario	Cantidad total (m^3) de material de relleno por tipo, por material Fuente, por segmento del proyecto	(Véase la tabla 5.4.5)

5.2 – Plan de muestreo aleatorio

Contratistas ABC establecerá un plan de muestreo aleatorio para el muestreo y las pruebas de control de calidad de cada lote de material de movimiento de tierras antes de su colocación. Todas las muestras de movimiento de tierras se obtendrán aleatoriamente de acuerdo con la norma ASTM D3665. La ubicación de la muestra aleatoria para cada sublote se determinará por estación, desplazamiento y profundidad dentro del sublote.

Todas las ubicaciones de las muestras aleatorias se documentarán en el formulario de informe de pruebas estándar NETTCP D3665 o D3665RNG. En **el apéndice *xxx*** se encuentra una copia de los formularios de muestreo aleatorio. (Véase la nota de la página F-3). ABC Constractors proporcionará a la Agencia de Transporte una copia de las ubicaciones de muestreo aleatorio (es decir, el formulario NETTCP D3665 completado) para cada operación de colocación de movimiento de tierras, al inicio de la operación de colocación cada día.

5.3 – Sistema de identificación de muestras

Todas las muestras de material de movimiento de tierras se identificarán claramente de la siguiente manera:

- Segmento del proyecto (es decir, 1, 2, 3)
- Tipo de material (es decir, excavación de roca, excavación de tierra, préstamo ordinario, etc.)
- Tipo de muestra (QC, CIT) y aleatoria/no aleatoria
- Número de lote y número de sublote
- Ubicación de la muestra (por ejemplo, mediana de la Ruta 99, subcontratista de préstamo, etc.)
- Estación, desplazamiento y profundidad
- Fecha de la muestra
- Técnico o inspector

5.4 – Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad

Los requisitos específicos (características de calidad, frecuencia, ubicación, métodos) para el muestreo y las pruebas de control de calidad de cada elemento de movimiento de tierras se describen en las tablas siguientes.

5.4.1 – Material de relleno para excavación de escombros

Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad					
Característica de calidad	**Método(s) de ensayo**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote/ frecuencia de ensayo**	**Punto de muestreo**	**Método de muestreo**
Gradación	AASHTO T11 AASHTO T27	Cantidad total de material de relleno Tipo/ Origen/ Segmento del proyecto	1 muestra/ 5000 m^3 para 1° 50 000 m^3 y 1 muestra/ 10 000 m^3 siguientes	A partir de la elevación in situ del relleno	Aleatorio T2, T248
Densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad	AASHTO T99 (Método C) AASHTO T180 (Método D)	Cantidad total de material de relleno Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	1 muestra/ 5000 m^3 para 1° 50 000 m^3 y 1 muestra/ 10 000 m^3 siguientes	A partir de la elevación in situ del relleno	Aleatorio T2, T248
Tamaño máximo de roca (< 1 m)	Visual/Cinta	Cantidad total de material de relleno Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	De la elevación in situ del relleno	Visual aleatorio
Espesor máximo de elevación (< 300 mm)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de relleno Tipo/Fuente/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Visual aleatorio
Densidad en el lugar y contenido de humedad (por objetivos)	AASHTO T310 (Método B)	Cantidad total de material de relleno Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3 , pero no menos de 1/ubicación de colocación/día	Del relleno compactado	Aleatorio T310

5.4.2 – Material de terraplén de carretera

Requisitos de muestreo y ensayo de control de calidad					
Característica de calidad	**Método(s) de ensayo**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote/frecuencia de ensayo**	**Punto de muestreo**	**Método de muestreo**
Gradación	AASHTO T11 AASHTO T27	Cantidad total de material de terraplén Tipo/ Origen/ Segmento del proyecto	1 muestra/ 5000 m^3 para 1° 50 000 m^3 y 1 muestra/ 10 000 m^3 siguientes	Desde el levantamiento in situ del terraplén	Aleatorio T2, T248
Densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad	AASHTO T99 (Método C) AASHTO T180 (Método D)	Cantidad total de material de terraplén Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	1 muestra/ 5000 m^3 para 1° 50 000 m^3 y 1 muestra/ 10 000 m^3 siguientes	Desde el sitio Levantamiento del relleno	Aleatorio T2, T248
Tamaño máximo de roca (< 1 m)	Visual/Cinta	Cantidad total de material de terraplén Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde el sitio Levantamiento del relleno	Visual aleatorio
Espesor máximo de elevación (< 600 mm para excavación de tierra)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de terraplén Tipo/Fuente/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde el sitio Levantamiento del relleno	Visual aleatorio
Espesor máximo de elevación (< 300 mm para tierra de préstamo ordinaria y grava de préstamo)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de terraplenaje Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde el sitio Levantamiento del relleno	Visual aleatorio
Espesor máximo de elevación (< 200 mm para préstamos especiales)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de terraplén Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde el sitio Levantamiento del relleno	Visual aleatorio
Densidad y contenido de humedad in situ (según objetivos)	AASHTO T310 (Método B)	Cantidad total de material de terraplén Tipo/Origen/Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3, pero no menos de 1/ubicación de colocación/día	De Relleno Compactado	Aleatorio T310

5.4.3 – Material de terraplén bajo cimientos de puentes

Requisitos de muestreo y ensayo de control de calidad					
Característica de calidad	**Método(s) de ensayo**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote/frecuencia de ensayo**	**Punto de muestreo**	**Método de muestreo**
Gradación	AASHTO T11 AASHTO T27	Cantidad total de material de terraplén Tipo/ Origen/ Segmento del proyecto	1 Muestra/ Ubicación de colocación	Desde la elevación in situ del terraplén	Aleatorio T2, T248
Densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad	AASHTO T99 (Método C) AASHTO T180 (Método D)	Cantidad total de material de terraplén Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	1 Muestra/ubicación de colocación	De la capa de terraplén in situ	Aleatorio T2, T248
Tamaño máximo de las piedras (< 75 mm)	Visual/Cinta	Cantidad total de material de relleno Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Aleatorio Visual
Espesor máximo de elevación (< 300 mm)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de terraplén Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del terraplén	Visual aleatorio
Densidad in situ y contenido de humedad (por objetivos)	AASHTO T310 (Método B)	Cantidad total de material de terraplén Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	Grava extraída: 1 muestra/cada elevación/ubicación de colocación/día Piedra triturada: N/A	Del terraplén compactado	Aleatorio T310

5.4.4 – Material de relleno para estructuras

Requisitos de muestreo y pruebas de control de calidad					
Característica de calidad	**Método(s) de ensayo**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote/frecuencia de ensayo**	**Punto de muestreo**	**Método de muestreo**
Gradación	AASHTO T11 AASHTO T27	Cantidad total de material de relleno Tipo/ Origen/ Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3	De la capa de relleno in situ	Aleatorio T2, T248
Densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad	AASHTO T99 (Método C) AASHTO T180 (Método D)	Cantidad total de material de relleno Tipo/Fuente/Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3	De la capa de relleno in situ	Aleatorio T2, T248
Tamaño máximo de la piedra (< 75 mm)	Visual/Cinta	Cantidad total de material de relleno Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Aleatorio Visual
Espesor máximo de elevación (< 150 mm)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de relleno Tipo/Fuente/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Visual aleatorio
Densidad en el lugar y contenido de humedad (por objetivos)	AASHTO T310 (Método B)	Cantidad total de material de relleno Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	1 muestra/100 m^3, pero no menos de 1/elevación/día	De relleno compactado	Aleatorio T310

5.4.5 – Material de relleno para tuberías*

Requisitos de muestreo y ensayo de control de calidad					
Característica de calidad	**Método(s) de ensayo**	**Tamaño del lote**	**Tamaño del sublote/frecuencia de ensayo**	**Punto de muestreo**	**Método de muestreo**
Gradación	AASHTO T11 AASHTO T27	Cantidad total de material de relleno Tipo/ Origen/ Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3	De la capa de relleno in situ	Aleatorio T2, T248
Densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad	AASHTO T99 (Método C) AASHTO T180 (Método D)	Cantidad total de material de relleno Tipo/Fuente/Segmento del proyecto	1 muestra/1000 m^3	De la capa de relleno in situ	Aleatorio T2, T248
Tamaño máximo de la piedra (< 75 mm)	Visual/Cinta	Cantidad total de material de relleno Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Aleatorio Visual
Espesor máximo de elevación (< 150 mm)	Varilla/Estaca de nivelación	Cantidad total de material de relleno Tipo / Fuente / Segmento del proyecto	Mínimo 4/elevación/día	Desde la elevación in situ del relleno	Visual aleatorio
Densidad in situ y contenido de humedad (por objetivos)	AASHTO T310 (Método B)	Cantidad total de material de relleno Tipo/Origen/Segmento del proyecto	Grava extraída: 1 muestra/100 m de zanja, pero no menos de 1/elevación/día Préstamo ordinario: 1 muestra/100 m de zanja, pero no menos de 1/ubicación de colocación/día	De relleno compactado	Aleatorio T310

(*)**El material de relleno para tuberías** incluirá grava y material de relleno ordinario que se colocará de la siguiente manera:

Grava de relleno: la grava de relleno se utilizará para el lecho y el relleno de la tubería hasta un punto situado 600 mm por encima de la parte superior de la tubería.

Préstamo ordinario: el préstamo ordinario se utilizará para rellenar la profundidad restante de la zanja desde la parte superior del préstamo de grava hasta la parte superior de la subbase terminada.

5.5 – Informe de resultados de pruebas de control de calidad

Todas las muestras y pruebas de control de calidad de los materiales de movimiento de tierras in situ se documentarán en los siguientes formularios de informe de pruebas estándar (TRF):

N.º de formulario	Título del formulario
NETTCP T27	Informe de prueba de análisis por tamiz
T99	Relaciones entre humedad y densidad de los suelos (norma)
T180	Relaciones entre humedad y densidad de los suelos (modificado)
T310	Informe de ensayo de densidad y contenido de humedad de suelos in situ
Tamaño y elevación de las rocas	Informe de pruebas de tamaño máximo de rocas y espesor de levantamiento

En **el apéndice *xxx*** se incluye una copia de los TRF estándar utilizados para el muestreo y las pruebas de control de calidad de los materiales de movimiento de tierras. (Véase la nota de la página F-3).

ABC Contractors conservará un registro completo de todas las pruebas e inspecciones de movimiento de tierras realizadas en archivos accesibles que se etiquetarán como «Sistema de registro de control de calidad - Movimiento de tierras». El sistema de registro de control de calidad contendrá los siguientes documentos de control de calidad:

- El plan de control de calidad de movimientos de tierra aprobado
- Copias originales de todos los formularios de informe de pruebas estándar de control de calidad de movimientos de tierra completados (incluidos los formularios de muestreo aleatorio)
- Gráficos de control de movimiento de tierras
- Resúmenes de todos los resultados de las pruebas de movimiento de tierras
- Registros de la información sobre la cantidad de producción diaria de los movimientos de tierra

ABC Contractors también enviará copias de todos los formularios de informes de muestreo y pruebas de control de calidad completados a la Agencia de Transporte junto con cada «Informe semanal resumido de control de calidad».

5.6 – Procedimientos de almacenamiento y conservación de muestras de control de calidad

Todas las muestras físicas de control de calidad del material de movimiento de tierras se dividirán antes de su análisis de acuerdo con los procedimientos pertinentes de la AASHTO y la NETTCP.

La parte de la muestra dividida del material de movimiento de tierras que no se utilice para las pruebas se conservará en la bolsa de muestras original con la identificación adecuada. La muestra dividida se almacenará en la sala de almacenamiento de muestras del laboratorio que haya realizado la prueba durante un mínimo de 60 días después de la prueba.

6.0 INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN

Las actividades y procedimientos que deben seguirse para el control de calidad durante la producción de materiales de movimiento de tierras se indican a continuación.

6.1 – Calendario de operaciones de producción

ABC Contractors proporcionará a la Agencia de Transporte un «Calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras» cada viernes anterior a la semana de producción. En **el apéndice *xxx*** se incluye una copia del «Calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras». (Véase la nota de la página F-3).

El calendario semanal de operaciones de producción identificará lo siguiente:

- Tipo de material
- Fuente del material
- Lugar de producción
- Cantidad estimada de producción

ABC Contractors realizará un seguimiento diario de las cantidades de producción reales y mantendrá un «Registro de producción de movimientos de tierra» para cada semana. Se pondrán a disposición de la Agencia de Transporte copias del «Registro de producción de movimientos de tierra» en el «Informe semanal resumido de control de calidad».

6.2 – Instalaciones y equipos de producción

ABC Contractors y sus subcontratistas y proveedores utilizarán instalaciones y equipos convencionales para la producción de todos los materiales de movimiento de tierras. A continuación se resumen los principales tipos de instalaciones y equipos que se utilizarán para la producción in situ y fuera del emplazamiento.

Fuente del material Instalación de producción	Equipos de producción
En el sitio, segmentos 1, 2 y 3	• Perforadoras sobre orugas (múltiples, de diversas marcas)
	• Explosivos y colchonetas explosivas
	• Retroexcavadoras (varias, de diferentes marcas)
	• Tractores/excavadoras (varios, de diferentes marcas)
	• Cargadoras frontales (varias, de diferentes marcas)
	• Camiones volquete (varios, de diferentes marcas)
Bedrock Industries, Bedrock, MA	
	• Tractores/excavadoras (varios, de diferentes marcas)
	• Trituradora de rocas
	• Cinta transportadora
	• Cargadoras frontales (varias, de diferentes marcas)
	• Camiones volquete (varios, de diferentes marcas)
Productor(es) de préstamo (pordeterminar)	
	• Tractores/excavadoras (varios, de diferentes marcas)
	• Cargadoras frontales (varias, de diferentes marcas)
	• Camiones volquete trasero (varios, de diferentes marcas)

6.3 – Actividades de control de calidad de la producción

El personal de control de calidad de la producción (PQC) realizará las siguientes actividades de inspección, muestreo y ensayo con la frecuencia indicada:

6.3.1 – Actividades de control de calidad previas a la producción

- Realizar una auditoría de control de calidad previa a la producción en cada instalación o ubicación de Earthwork Source de acuerdo con la Parte XIII del CQMP antes del inicio de la producción de Earthwork
  .
- Mantener un sistema de cuadrícula de referencia (estaciones, desplazamientos) y límites para cada instalación o ubicación de Earthwork Source
- Determinar y documentar ubicaciones de muestreo aleatorio de materiales de movimiento de tierras en la instalación de producción de acuerdo con la sección 4.2.1 anterior.
- Obtenga y etiquete adecuadamente todas las muestras de caracterización de origen (SC) de los materiales de movimiento de tierras con la frecuencia indicada en la sección 4.2.1 anterior.
- Transportar las muestras de caracterización de la fuente de movimiento de tierras al laboratorio adecuado para su análisis.
- Asegúrese de que el muestreo y las pruebas de caracterización de la fuente se completen para cada cuadrante de la fuente antes de la producción/retirada de material de la fuente.
  .
- Inspeccionar las pilas de almacenamiento para asegurarse de que los diferentes tipos de materiales de movimiento de tierras no se mezclen ni se contaminen.

6.3.2 – Actividades de control de calidad de la producción

- Supervisar visualmente la producción de materiales de movimiento de tierras para garantizar que no se produzcan cambios en el tipo de material dentro del cuadrante de origen.
- Determinar y documentar los lugares de muestreo aleatorio para cada sublote de material de movimiento de tierras producido.
- Obtenga y etiquete adecuadamente todas las muestras de campo PQC de materiales de movimiento de tierras.
- Transportar las muestras de campo PQC de movimiento de tierras al laboratorio adecuado para su análisis.
- Realizar el muestreo y las pruebas PQC de los movimientos de tierra de acuerdo con los métodos y frecuencias de prueba requeridos que se describen en la sección 5.0 anterior.
- Prepare y firme los formularios de informe de pruebas (TRF) estándar para cada prueba completada.
- Mantener los gráficos de control de las instalaciones de producción según la sección 6.4 más abajo.
- Supervisar la carga y el transporte de los materiales de movimiento de tierras para garantizar que se transportan los materiales correctos a la ubicación correcta del proyecto.
- Asegúrese de que todos los pozos de préstamo estén bien recortados y acabados según los grados y dimensiones mínimos exigidos en la sección 150.21 de la norma.
  Especificaciones
- Documente las actividades y los resultados de la inspección de control de calidad de la producción de movimientos de tierra fuera y dentro de la obra en los formularios de informe de inspección de control de calidad (IRF) estándar para cada ubicación de producción
  de producción, de conformidad con la sección 6.6 que figura a continuación.

- Identificar las prácticas o materiales de las instalaciones de producción que no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes y del presente plan de control de calidad, y discutir
  las medidas correctivas adecuadas con el superintendente de la instalación de producción y el responsable de control de calidad

6.4 – Gráficos de control de las instalaciones de producción

Los contratistas ABC y sus productores de materiales de movimiento de tierras pueden utilizar gráficos de control para controlar las operaciones de producción, tal y como se describe a continuación.

6.4.1 – Gráficos de control de producción fuera de las instalaciones

Los productores de materiales de movimiento de tierras fuera de la obra utilizarán gráficos de control según sea necesario para proporcionar un control adecuado de sus operaciones de producción. Antes de la producción, ABC Contractors solicitará a cada productor de materiales de movimiento de tierras que identifique y presente ejemplos de los gráficos de control que se utilizarán. ABC Contractors supervisará y discutirá los gráficos de control con el productor durante la producción del movimiento de tierras.

6.4.2 – Gráficos de control de producción in situ

En este momento, la aplicación de gráficos de control no parece necesaria para la producción de materiales de movimiento de tierras in situ (es decir, excavación de tierra). Sin embargo, en caso de que se establezcan operaciones de trituración de rocas para producir materiales de movimiento de tierras a partir de la excavación de rocas in situ, se mantendrán gráficos de control para supervisar el control de la operación.

6.5 – Procedimientos para la acción correctiva de materiales no conformes

Se seguirán los siguientes procedimientos para la acción correctiva de materiales no conformes encontrados en la fuente/instalación de producción:

- Si se encuentran materiales contaminados, se identificará el límite de material contaminado. El material contaminado se marcará claramente con señales etiquetados como **«No utilizar en la Ruta 99»**.

- Si se detecta un cambio en el tipo de material dentro de un lote de origen, se realizarán muestreos y pruebas adicionales para caracterizar el material. La disposición de dicho material será la siguiente:

  - Si el material cumple los requisitos de especificación para otro tipo de material del proyecto, se aprobará su uso en una ubicación adecuada para ese tipo de material.

  - Si el material puede mezclarse con otro material y, posteriormente, cumplir los requisitos de especificación para un tipo de material del proyecto, se aprobará su uso en una ubicación adecuada para ese tipo de material.

  - Si el material no cumple con los requisitos de especificación para un tipo de material del proyecto, no se permitirá su uso en el proyecto. ABC Contractors preparará un informe de no conformidad (NCR) para dicho material de acuerdo con la Parte X del CQMP. Si el origen de dicho material es in situ (por ejemplo, la mediana de la Ruta 99), ABC Contractors lo eliminará fuera del sitio en un vertedero autorizado. Si el origen de dicho material es fuera de la obra (por ejemplo, préstamo), el material se marcará claramente con carteles con la inscripción **«No usar en la Ruta 99»**.

6.6 – Informes de inspección de control de calidad de la producción

Todas las actividades de inspección de control de calidad de producción se documentarán en los siguientes formularios estándar de informe de inspección de control de calidad (IRF):

N.º de formulario	Título del formulario
PQC-PPA	Control de calidad de la producción: informe de auditoría previa a la producción
PQC-IDR	Control de calidad de la producción: informe diario de los inspectores

En **el apéndice *xxx*** se incluye una copia de los IRF estándar utilizados para la inspección de control de calidad de la producción de materiales de movimiento de tierras. (Véase la nota de la página F-3).

7.0 OPERACIONES DE CAMPO

Las actividades y procedimientos que deben seguirse para el control de calidad durante la colocación de materiales de movimiento de tierras se indican a continuación.

7.1 – Calendario de operaciones de colocación sobre el terreno

ABC Contractors proporcionará a la Agencia de Transporte un «Calendario semanal de operaciones de colocación de materiales de movimiento de tierras» cada viernes anterior a la semana de colocación. En **el apéndice *xxx*** se incluye una copia del «Calendario semanal de operaciones de colocación de materiales de movimiento de tierras». (Véase la nota de la página F-3).

(Nota para el preparador del plan: un informe semanal tipo puede ser similar al ejemplo que se muestra a continuación).

Calendario semanal de operaciones de producción de materiales de movimiento de tierras

Semana que comienza: _____

Tipo de material	Origen del material	Lugar de producción (STA a STA, stockpile, pit, etc.)	Cantidad estimada de producción
Préstamo ordinario	**Cantera de préstamo in situ Rte 99**	Cuadrante SC-234	5000 m³
Préstamo ordinario	Ruta 99 Cantera in situ	Cuadrante SC-240	**4000 m³**
Préstamo ordinario	Ruta 99, in situ, Segmento 1	Mediana de la Ruta 99, STA 114+10 a STA 116+50	4000 m³
Préstamo ordinario	Ruta 99 in situ, Segmento 1	Mediana de la Ruta 99	4000 m³
Préstamo ordinario	Ruta 99 in situ, Segmento 1	Mediana de la Ruta 99	4000 m³
Préstamo ordinario	Ruta 99 in situ, Segmento 1	Mediana de la Ruta 99	4000 m³
Préstamo ordinario	Ruta 99 in situ, Segmento 1	Mediana de la Ruta 99	4000 m³
Excavacion de roca	Ruta 99, tramo 1, 2, 3	Mediana de la Ruta 99, exterior	2200 m³
Excavación de tierra	Segmento Ruta 99 1, 2, 3	Mediana de la Ruta 99, exterior	4000 m³
Préstamo ordinario	Productor de material de relleno (por determinar)	Reserva	6000 m³
Préstamo de grava	Productor de préstamo (por determinar)	Reserva	3000 m³

El calendario semanal de las operaciones de colocación identificará lo siguiente:

- Segmento del proyecto
- Ubicación de la colocación
- Profundidad máxima de colocación
- Ubicaciones de colocación previstas (carretera, límites de la estación)
- Tipo(s) de material
- Cantidades estimadas de colocación
- Fuente(s) del material

ABC Contractors realizará un seguimiento diario de las cantidades reales colocadas y mantendrá un «Registro de colocación de movimiento de tierras» semanal. Se facilitarán copias del «Registro de colocación de movimiento de tierras» a la Agencia de Transporte.

7.2 – Instalaciones y equipos para la colocación de materiales de movimiento de tierras

ABC Contractors utilizará instalaciones y equipos convencionales para la colocación de todos los materiales de movimiento de tierras. A continuación se resumen los principales tipos de instalaciones y equipos que se utilizarán para la colocación de movimiento de tierras para cada tipo de elemento de movimiento de tierras.

Elemento de movimiento de tierras	Equipo de colocación
Material de relleno para excavación de escombros y material de terraplenado de carreteras	• Camiones volquete (varios, de diferentes marcas)
	• Tractores/excavadoras (varios, de diferentes marcas)
	• Rodillos vibratorios - 50 toneladas (varios, de diferentes marcas)
	• Rodillos de pata de oveja (varios, de diferentes marcas)
	• Camiones cisterna (varios, de diferentes marcas)
Material de terraplenaje para cimientos de puentes	• Camiones volquete traseros (varios, de diferentes marcas)
	• Tractores/excavadoras (varios, de diferentes marcas)
	• Rodillos vibratorios - 50 toneladas (varios, de diferentes marcas)
Material de relleno para estructuras y tuberías	• Camiones volquete (varios, de diferentes marcas)
	• Retroexcavadoras (varias, de diferentes marcas)
	• Cargadoras frontales (varias, de diferentes marcas)
	• Compactadoras vibratorias (varias marcas)

7.3 – Establecimiento del patrón de compactación (tiras de control)

Se construirán franjas de control al inicio de cada operación de colocación de tierra. Se construirá una nueva franja de control cada vez que se produzca una de las siguientes situaciones:

- Un nuevo lote de movimiento de tierras
- Un cambio en las condiciones meteorológicas
- Un cambio en el entorno
- Un PWL < 85 % en 3 o más resultados consecutivos de pruebas de control de calidad

Las franjas de control se utilizarán para establecer un patrón de compactación eficaz y el esfuerzo de compactación correspondiente necesario para alcanzar la densidad objetivo in situ (densidad seca máxima) con un contenido de humedad óptimo. El procedimiento que se debe seguir para desarrollar una franja de control se describe a continuación:

7.3.1- Movimiento de tierras compactado con rodillos

Paso A. – La franja de control se establecerá en la primera capa que se construya dentro de un área que no exceda los 30 m de largo por 15 m de ancho. La franja se dividirá longitudinalmente en 3 secciones de franja de control aproximadamente iguales.
Paso B. – El material se colocará suelto en la primera sección de la franja de control. El jefe de obra, el operador o los operadores de rodillos y el inspector de control de calidad evaluarán visualmente el contenido de humedad del movimiento de tierras colocado y determinarán si se necesita humedad adicional para alcanzar el contenido de humedad óptimo.
Paso C. – El supervisor de campo, los operadores de rodillos y el inspector de control de calidad de campo discutirán y acordarán el número y la secuencia de pasadas propuestos, así como el modo o modos de compactación (estático, vibratorio) que se utilizarán para el movimiento de tierras concreto que se va a realizar.
Paso D. – El operador o los operadores de rodillos compactarán la sección de control n.º 1 siguiendo el número y la secuencia de pasadas y los modos de compactación acordados.
Paso E. – Después de compactar la sección de control n.º 1, el operador de rodillos suspenderá la operación. El inspector de control de calidad realizará pruebas de información del contratista (CIT) dentro de la sección de control n.º 1 y obtendrá un mínimo de tres lecturas separadas (aleatorias o no aleatorias) de la densidad in situ y el contenido de humedad.
Paso F. – El superintendente de campo, el operador o los operadores de rodillos y el inspector de control de calidad de campo revisarán las lecturas de densidad in situ y contenido de humedad de la sección de control n.º 1 y determinarán cualquier ajuste necesario en el número y la secuencia de pasadas y los modos de compactación.
Paso G. - El operador de la apisonadora pasará a la sección de control n.º 2 y compactará el material siguiendo el número y la secuencia de pasadas y los modos de compactación acordados.
Paso H. – Después de compactar la sección de control n.º 2, el operador de la apisonadora suspenderá la operación y permitirá que el inspector de control de calidad obtenga un mínimo de tres lecturas aleatorias independientes de la densidad in situ y el contenido de humedad en la sección de control n.º 2.

Paso I. – Los resultados del CIT para la sección de control n.º 2 serán evaluados por el inspector de control de calidad mediante el análisis del nivel de calidad (QLA). El QLA debe indicar un porcentaje dentro de los límites (PWL) del 85 % o más para la densidad in situ y el contenido de humedad, tal y como se indica en la sección 8.1 más abajo.
Paso J. – Si el PWL de la sección de control n.º 2 es del 85 % o superior, el número y la secuencia de pasadas y los modos de compactación utilizados en la sección de control n.º 2 se establecerán como el «patrón de compactación» aprobado para el resto de la operación de colocación de ese día.
Paso K. – Si el PWL de la sección de control n.º 2 es inferior al 85 %, los pasos F a I anteriores se repetirán en el segmento n.º 3.

7.3.2- Movimiento de tierras compactado con compactadoras manuales

Paso A. – La franja de control se establecerá en la primera capa que se construya dentro de un área que no exceda los 24 m de largo por 1 m de ancho. La franja se dividirá longitudinalmente en 3 secciones de franja de control aproximadamente iguales.
Paso B. – El material se colocará suelto en la primera sección de la franja de control. El jefe de obra, el operador de la compactadora y el inspector de control de calidad evaluarán visualmente el contenido de humedad del movimiento de tierras colocado y determinarán si se necesita humedad adicional para alcanzar el contenido de humedad óptimo.
Paso C. – El supervisor de obra, el operador o los operadores de la compactadora y el inspector de control de calidad de campo discutirán y acordarán el número y la secuencia de pasadas propuestos, así como el modo de compactación que se utilizará para el movimiento de tierras concreto que se está realizando.
Paso D. – El operador de la compactadora compactará la sección de la franja de control n.º 1 siguiendo el número y la secuencia de pasadas y el modo de compactación acordados.
Paso E. – Después de compactar la sección de control n.º 1, el operador de la compactadora suspenderá la operación. El inspector de control de calidad realizará pruebas de información del contratista (CIT) dentro de la sección de control n.º 1 y obtendrá un mínimo de tres lecturas separadas (aleatorias o no aleatorias) de densidad in situ y contenido de humedad.
Paso F. – El superintendente de campo, el operador de la compactadora y el inspector de control de calidad de campo revisarán las lecturas de densidad in situ y contenido de humedad de la sección de control n.º 1 y determinarán cualquier ajuste necesario en el número y la secuencia de pasadas y el modo de compactación.
Paso G. - El operador de la compactadora pasará a la sección de control n.º 2 y compactará el material siguiendo el número y la secuencia de pasadas y el modo o modos de compactación acordados.
Paso H. – Después de compactar la sección de control n.º 2, el operador de la compactadora suspenderá la operación y permitirá que el inspector de control de calidad obtenga un mínimo de tres lecturas aleatorias separadas de la densidad in situ y el contenido de humedad en la sección de control n.º 2.

Paso I. – Los resultados del CIT para la sección n.º 2 de la franja de control serán evaluados por el inspector de control de calidad mediante el análisis del nivel de calidad (QLA). El QLA debe indicar un porcentaje dentro de los límites (PWL) del 85 % o más para la densidad in situ y el contenido de humedad, tal y como se indica en la sección 8.1 más abajo.
Paso J. – Si el PWL de la sección de control n.º 2 es del 85 % o superior, el número y la secuencia de pasadas y los modos de compactación utilizados en la sección de control n.º 2 se establecerán como el «patrón de compactación» aprobado para el resto de la operación de colocación de ese día.
Paso K. – Si el PWL de la sección de control n.º 2 es inferior al 85 %, los pasos **F** a **I** anteriores se repetirán en el segmento n.º 3.

7.4 – Actividades de control de calidad en el campo

El personal de Control de Calidad de Campo (FQC) realizará la inspección, el muestreo y las pruebas de los movimientos de tierra tal y como se describe a continuación.

7.4.1 – Actividades de control de calidad previas a la colocación

- Comprobar que la línea y la pendiente de los movimientos de tierra se ajustan a los documentos de diseño.
- Asegurarse de que todas las medidas de control de la erosión se hayan implementado de acuerdo con los planos y especificaciones aprobados.
- Asegurarse de que el terreno existente haya sido despejado, desbrozado y despojado según lo especificado en las secciones 101 y 120 de las especificaciones estándar, antes de la colocación de cualquier material de movimiento de tierras.
- Verificar que se haya eliminado toda la vegetación y demás material orgánico dentro y en las inmediaciones del lugar de colocación de los movimientos de tierra.
- Compruebe que las excavaciones se hayan realizado hasta alcanzar un material y una pendiente adecuados para los cimientos.
- Cuando el material de movimiento de tierras se vaya a colocar contra taludes existentes con una pendiente superior a 1 vertical: 3 horizontal, asegúrese de que el talud se divida en escalones de anchura aleatoria para proporcionar una unión adecuada entre el terreno existente y el nuevo material.

7.4.2 – Actividades de control de calidad de la colocación

- Asegúrese de que se construyan franjas de control al inicio de cada operación de colocación de movimiento de tierras y, a partir de entonces, según sea necesario, de conformidad con la sección 7.3 anterior.
- Asegúrese de que no se incorporen al movimiento de tierras tocones, basura, tepes u otros materiales inadecuados.
- Asegúrese de que no se coloquen materiales de movimiento de tierras congelados y que el movimiento de tierras no se realice sobre material congelado a una profundidad superior a 75 milímetros.
- Asegúrese de que se entregue/reciba el tipo correcto de material de movimiento de tierras, según la sección 4.1 anterior, en el lugar de colocación previsto.

- Asegúrese de que el movimiento de tierras se coloque en capas sucesivas de material distribuido uniformemente y compactado en todo el ancho de la sección transversal.
- Supervise la colocación de las capas para asegurarse de que no se superen los espesores máximos especificados en la sección 5.4 anterior.
- Asegúrese de que cada capa de materiales de movimiento de tierras compactados esté visiblemente coronada para permitir el drenaje del agua superficial y el agua de lluvia de la superficie.
- Controle el tamaño máximo de las rocas y el tamaño máximo de las piedras en los materiales de movimiento de tierras para garantizar que se ajustan a los requisitos de la sección 5.4 anterior.
- Asegúrese de que, en los lugares donde se coloque el Rock Excavate, todos los huecos e intersticios se rellenen con un material de movimiento de tierras granular limpio y adecuado, identificado en la sección 4.1 anterior.
- Asegúrese de que el contenido de humedad del material de movimiento de tierras colocado se aproxime al contenido de humedad óptimo establecido mediante las pruebas de caracterización de la fuente (sección 4.2 anterior) y mediante la franja de control (sección 7.3 anterior).
- Asegúrese de que se añada humedad cuando el material de movimiento de tierras esté demasiado seco y de que el movimiento de tierras que esté demasiado húmedo se seque mediante arado, rastrillado, nivelado, mezcla rotativa mezcla u otros medios aprobados, de modo que se pueda lograr una compactación adecuada.
- Supervise los patrones de compactación en comparación con el «patrón de compactación» de la franja de control aprobada y realice pruebas de información del contratista (CIT) para asegurarse de que La densidad in situ se aproxima a la densidad in situ objetivo (100 %).
- Asegúrese de que no se incorpore ninguna roca que supere los 150 milímetros en su dimensión mayor en la capa superior de 600 milímetros de movimiento de tierras inmediatamente debajo la elevación final de la subbase.
- Realice mediciones de control durante la colocación de la capa final de la subbase del material de terraplén de la carretera (material especial) de acuerdo con
- la sección 170.61 de las especificaciones estándar para garantizar que la profundidad y las elevaciones adecuadas de la subbase terminada se mantengan dentro de un margen de +/-15 milímetros.
- Asegúrese de que el material de terraplén de la carretera de 3 metros o más de altura desde la elevación de la subbase hasta la elevación original del terreno se construya
- a la elevación de la subrasante propuesta y que se deje asentarse durante 60 días (u otro período especificado por el ingeniero de diseño) antes de construir la estructura del pavimento sobre él.
- Asegúrese de que el material de terraplén bajo los cimientos del puente se coloque en el terraplén antes de hincar los pilotes.
- Determine y documente los puntos de muestreo aleatorios para cada sublote de material de movimiento de tierras colocado.
- Obtenga y etiquete adecuadamente todas las muestras de campo de materiales de movimiento de tierras.
- Transportar las muestras de campo de movimiento de tierras al laboratorio adecuado para su análisis.
- Realizar muestreos y pruebas de control de calidad in situ de los movimientos de tierra de acuerdo con los métodos y frecuencias de prueba requeridos que se describen en la sección 5.0 anterior.
- Prepare y firme los formularios de informe de pruebas (TRF) estándar para cada prueba

completada.

- ❖ Mantener los gráficos de control según la sección 7.5 más abajo.
- ❖ Documentar las actividades de inspección de control de calidad de los movimientos de tierra in situ y los resultados en los formularios de informe de inspección de control de calidad (IRF) estándar para cada ubicación de colocación in situ de colocación in situ, según la sección 7.7 más abajo.
- ❖ Identificar las prácticas de colocación in situ o los materiales que no se ajusten a los requisitos de las especificaciones pertinentes y del presente plan de control de calidad, y discuta las medidas correctivas adecuadas con el superintendente de campo del segmento y el gerente de control de calidad.

7.5 – Gráficos de control de colocación

Los contratistas ABC pueden utilizar gráficos de control para controlar las operaciones de colocación de cada una de las cinco categorías de movimientos de tierra que se describen a continuación.

7.5.1 – Gráficos de control para el material de relleno para la excavación de escombros

Dado que la colocación de material de relleno para la excavación de escombros generalmente implicará cantidades menores de movimiento de tierras en ubicaciones esporádicas, la aplicación de gráficos de control como herramienta para proporcionar control de campo para este elemento de movimiento de tierras proporcionará información limitada sobre el control de calidad. Por consiguiente, no se utilizarán gráficos de control para la colocación de material de relleno para la excavación de escombros.

7.5.2 – Gráficos de control para el material de terraplenado de carreteras

La colocación de material de terraplén de carretera implicará grandes cantidades de movimiento de tierras dentro de cada segmento del proyecto. Por consiguiente, se utilizarán gráficos de control como herramienta para ayudar en el control de campo de la colocación de este elemento de movimiento de tierras.

El personal de inspección de control de calidad sobre el terreno mantendrá gráficos de control para cada lote de material de terraplén de carretera. Los gráficos de control supervisarán la densidad in situ y el contenido de humedad de cada lote. Los resultados medios de las pruebas de control de calidad se representarán gráficamente según los subgrupos diarios.

7.5.3 – Gráficos de control para el material de terraplén bajo los cimientos de los puentes

La colocación de material de terraplén bajo los cimientos de los puentes implicará grandes cantidades de movimiento de tierras en cada segmento del proyecto. Por consiguiente, se utilizarán gráficos de control como herramienta de ayuda en el control sobre el terreno de la colocación de este elemento de movimiento de tierras. El personal de inspección de control de calidad sobre el terreno mantendrá gráficos de control para cada lote de material de terraplén bajo los cimientos de los puentes. Los gráficos de control supervisarán la densidad in situ y el contenido de humedad de cada lote. Los resultados medios de las pruebas de control de calidad se representarán gráficamente según los subgrupos diarios.

7.5.4 – Gráficos de control para el material de relleno de las estructuras

Dado que la colocación de material de relleno para estructuras suele implicar cantidades menores de movimiento de tierras en diversos lugares, la aplicación de gráficos de control como herramienta para proporcionar control de campo para este elemento de movimiento de tierras proporcionará información limitada sobre el control de calidad. Por consiguiente, no se utilizarán gráficos de control para la colocación de material de relleno para estructuras.

7.5.5 –Gráficos de control para el material de relleno de tuberías

Dado que la colocación de material de relleno para tuberías suele implicar cantidades menores de movimiento de tierras en diversos lugares, la aplicación de gráficos de control como herramienta para controlar sobre el terreno este elemento del movimiento de tierras proporcionará información limitada sobre el control de calidad. Por consiguiente, no se utilizarán gráficos de control para la colocación de material de relleno para tuberías.

En **el apéndice *xxx*** se incluye un ejemplo de los tipos de gráficos de control que se utilizarán para la colocación de movimientos de tierra. (Véase la nota de la página F-3).

7.6 – Procedimientos para la adopción de medidas correctivas en caso de materiales no conformes

Se seguirán los siguientes procedimientos para la acción correctiva de materiales no conformes encontrados durante la colocación de elementos de movimiento de tierras:

- Si el material de movimiento de tierras entregado/recibido en el lugar de colocación no es del tipo correcto (es decir, tierra excavada, material de relleno ordinario, material de relleno especial, etc.), se retirará (si se ha colocado) y se devolverá al proveedor del material.

- Si se determina que el material de movimiento de tierras entregado/recibido en el lugar de colocación es del tipo correcto, pero no cumple con los requisitos de especificación (por ejemplo, la gradación), se determinarán los límites de dicho material y se retirará del proyecto. Se suspenderá la recepción y colocación de material de movimiento de tierras procedente de la fuente hasta que el personal de control de calidad haya determinado y corregido la causa del material no conforme con las especificaciones.

- Si el nuevo material de movimiento de tierras entregado/recibido en el lugar de colocación se mezcla con material existente en el lugar que no cumple con las especificaciones (por ejemplo, material orgánico, otros), se determinarán los límites del área mezclada y el material mezclado se retirará y se eliminará en un lugar fuera del sitio aprobado.

- Si se determina que las rocas contenidas en el material de movimiento de tierras superan los límites de tamaño especificados (por ejemplo, excavación de tierra: <600 mm), se utilizará el equipo adecuado para romper la roca para que cumpla con los requisitos de tamaño máximo, o se retirará y se eliminará en un lugar fuera del sitio aprobado.

- Si se determina que el porcentaje de roca contenida en el material de movimiento de tierras excede el límite especificado (por ejemplo, excavación de tierra: <50 %), el material se esparcirá y mezclado con otro material para cumplir con los requisitos o se retirará.

- Si se determina que el espesor de la capa de material de movimiento de tierras supera los límites especificados, la capa se cortará con el equipo adecuado y se volverá a nivelar para cumplir con los requisitos máximos de espesor de levantamiento.

- Si el resultado de una prueba de control de calidad individual para la densidad in situ o el contenido de humedad in situ se encuentra fuera de los límites de ingeniería que figuran en la sección 8.6 más adelante, se detendrá la colocación del material de movimiento de tierras en la subparcela correspondiente se detendrá. Se tomarán las siguientes medidas:

- Solo se podrá realizar una nueva prueba a menos de 300 mm de la ubicación de la prueba aleatoria original si se cree que la causa de los resultados se debe a un error de muestreo o de prueba.

- Si no se justifica una nueva prueba, o si se realiza una nueva prueba y los resultados de la misma también se encuentran fuera de los límites técnicos, se podrán realizar tres (3) pruebas de control de calidad aleatorias adicionales dentro de la subparcela. Los resultados de las 3 pruebas de control de calidad aleatorias adicionales se evaluarán de la siguiente manera:

  - Si las tres pruebas están por encima del límite inferior de ingeniería (95 %), entonces se aceptará el sublote y se incluirán todos los resultados de las pruebas (el resultado original resultado fallido + los 3 resultados aprobados) se incluirán en el análisis del nivel de calidad.

  - Si cualquiera de las tres pruebas de control de calidad aleatorias adicionales está por debajo del límite inferior de ingeniería (95 %), el sublote no será aceptado.
    El personal de control de calidad sobre el terreno investigará para determinar si los resultados fallidos se deben a:

    - Procedimiento de compactación inadecuado
    - Contenido de humedad inadecuado
    - Otros

  - Una vez determinada la causa de los resultados fallidos de la prueba, se tomarán las medidas correctivas adecuadas (por ejemplo, añadir humedad, volver a clasificar y compacto. El material de movimiento de tierras defectuoso se volverá a trabajar y se realizarán tres pruebas de control de calidad aleatorias adicionales para el sublote. Los resultados de las tres pruebas de control de calidad aleatorias adicionales se evaluarán de acuerdo con los pasos anteriores hasta que los tres resultados adicionales se encuentren dentro de los límites de ingeniería y el porcentaje total dentro de los límites (PWL) para el sublote sea igual o superior al 85 %.

- El material de movimiento de tierras que no pueda reelaborarse para alcanzar la densidad y el contenido de humedad in situ especificados se eliminará fuera del emplazamiento.

7.7 – Informes de inspección de control de calidad sobre el terreno

Todas las actividades de inspección de control de calidad en campo se documentarán en los siguientes formularios estándar de informe de inspección de control de calidad (IRF):

N.º de formulario	Título del formulario
FQC-MRIR	Control de calidad sobre el terreno: informe de inspección de recepción de materiales
FQC-IDR	Control de calidad en campo: informe diario de supervisión de calidad de los inspectores
FQC-EBIR	Control de calidad en campo: informe de inspección de terraplenes y rellenos

(* Solo para material de productores de movimiento de tierras fuera de la obra)

En **el apéndice *xxx*** se incluye una copia de los IRF estándar utilizados para la inspección de control de calidad in situ de los materiales de movimiento de tierras. (Véase la nota de la página F-3).

- FIN DEL APÉNDICE F -

APÉNDICE G

Ejemplos de formularios de informe de pruebas estándar

Apéndice G

Ejemplos de formularios estándar de informes de pruebas

Resumen del apéndice

Este apéndice ofrece un resumen de ***los formularios estándar de informe de pruebas del NETTCP*** que pueden utilizar el personal del contratista y de la agencia. Los formularios estándar de informe de pruebas (TRF) están disponibles en formato electrónico (Microsoft Excel®) en el sitio web del NETTCP (http://www.nettcp.com).

Cada TRF incluye una sección estándar de «encabezado» para introducir información específica del proyecto y de la muestra, celdas de introducción de datos línea por línea y celdas de función integradas que calculan automáticamente los valores de las pruebas, así como una sección estándar de «pie de página» para la firma del probador y del revisor. Las partidas de cálculo y presentación de datos de cada TRF se han diseñado para seguir los pasos requeridos por el procedimiento de prueba específico de AASHTO o ASTM.

Los TRF estándar de NETTCP incluyen lo siguiente:

Formularios de informe de pruebas de suelos y áridos

- Informe de ensayo de muestreo aleatorio (D3665)
- Informe de ensayo de angularidad y partículas planas y alargadas de áridos gruesos (D5821, D4791)
- Informe de ensayo de solidez de áridos gruesos (T104)
- Informe de ensayo de solidez de áridos finos (T104)
- Informe de ensayo de materiales nocivos (T112)
- Informe de ensayo de finos plásticos por equivalente de arena (T176)
- Informe de ensayo de densidad por cono de arena (T191)
- Informe de ensayo de análisis granulométrico (T27, T11, T255)
- Informe de ensayo de angularidad de áridos finos (T304)
- Informe de ensayo de gravedad específica de áridos finos (T84)
- Informe del ensayo de gravedad específica de áridos gruesos (T85)
- Informe del ensayo de resistencia a la degradación de los áridos por abrasión (T96)

Formularios de informe de ensayo de hormigón de cemento Portland (PCC)

- Informe del ensayo de muestreo aleatorio (D 3665)
- Informe de ensayo de recubrimiento de acero de refuerzo con PCC (ACI y NETTCP)
- Informe de ensayo de asentamiento, contenido de aire y masa unitaria del PCC (T119, T152, T196, T121, C1064)
- Informe de pruebas de campo y resistencia de cilindros de PCC (T23, T119, T152, T196, C1064, T231, T22)

Formularios de informe de ensayo de mezcla asfáltica en caliente (HMA)

- Informe de ensayo de densidad nuclear del pavimento HMA (D 2950)
- Informe de pruebas de muestreo aleatorio (D 3665)
- Informe de ensayo de calidad de rodadura del pavimento (E 1489)
- Informe resumido de pruebas de campo de HMA
- Informe resumido de las pruebas de la planta HMA
- Informe de pruebas de temperaturas de campo de HMA (subbase, aire, mezcla
- Informe de pruebas de corrección de cenizas HMA (T 111)
- Informe de pruebas de contenido y gradación de asfalto HMA (T 110, T164, T 30)
- Informe de pruebas de contenido de asfalto, gradación y volumetría Marshall de HMA (T 110, T 164, T 30, T 166, T 209, PP 19, T 245)
- Informe de ensayo de gravedad específica máxima teórica de HMA (T 209)
- Informe de ensayo del espesor y la compactación del pavimento HMA (D 3549, T 166, T 230, T 269)
- Informe de ensayo de propiedades volumétricas de HMA Marshall (T 166, PP 19, T 245)
- Informe del ensayo de sensibilidad a la humedad del HMA (T 283)
- Registro de muestras de ligante asfáltico (T 40)
- Informe de ensayo de propiedades volumétricas giratorias de HMA (T 166, TP 4, PP 19)
- Informe del ensayo de contenido de asfalto y gradación de HMA (T 110, TP 53, T 30)
- Informe de ensayo del contenido de asfalto, la gradación y las propiedades volumétricas Marshall del HMA (T 110, TP 53, T 30, T 166, T 209, PP 19, T 245)

Sección de encabezado del formulario del informe de ensayo Clave

Fecha/Hora Fecha y hora, en formato militar, en que se tomó la muestra (*5/1/97 1330*).

Clima Breve descripción del clima *(soleado y caluroso, lluvia ligera, ventoso y fresco, etc.)*.

Proyecto Descripción del proyecto, incluyendo la ciudad, la carretera y el tipo de trabajo (*West Springfield/I91 Repavimentación*).

N.º de contrato Número de contrato estatal.

Contratista Contratista que realiza el trabajo.

N.º de partida de pago Número de partida del contrato para la que se está probando el material.

Fuente Nombre y ubicación de la fuente del material.

Tipo de planta Tipo de planta que se utiliza para producir el material *(planta por lotes, planta de tambor, etc.).*

Laboratorio/Ubicación Nombre y ubicación del laboratorio que realiza las pruebas del material.

Fecha de recepción Número de laboratorio asignado por el laboratorio de ensayos y fecha en la que el laboratorio recibió la muestra.

N.º de inicio de sesión del laboratorio Número asignado a la muestra por el laboratorio de ensayos.

Identificación del material Descripción del tipo de material que se está muestreando. Algunos ejemplos son, entre otros, los siguientes: *Superficie HMA de 12,5 mm, granulado grueso, granulado fino.*

N.º de material Número de especificación que corresponde al material, que figura en la identificación del material o en el número de mezcla del fabricante.

Muestra n.º Número único que se asignará para identificar claramente la muestra que se está analizando.

Tipo de muestra Indique por qué se tomó la muestra: **QA** (aceptación de calidad), **QC** (control de calidad), **IA** (garantía independiente), **AV** (verificación de aceptación), **PC** (control de procesos), **Otros**. Seleccione una de las 6 opciones.

Tomada por/N.º de cert. Nombre y número de certificación de la persona que obtuvo la muestra.

Muestra aleatoria: ¿La muestra es aleatoria? (seleccione una opción)

N.º de lote Número secuencial único, que comienza por 1, asignado para representar una cantidad específica detallada en las especificaciones de cada número de partida de pago.

Sublote n.º Un número secuencial único, que comienza con 1, asignado para representar una cantidad específica detallada en las especificaciones dentro de cada lote específico. Los números de sublote no deben repetirse dentro de un lote. Los números de sublote comienzan con 1 y avanzan según sea necesario, no comienzan de nuevo con la producción de cada día. *Si se utilizaron los números de sublote del 1 al 4 el primer día de producción, los números de sublote comenzarían con el 5 el segundo día de producción.*

Ubicación de la muestra Ubicación desde la que se tomó la muestra. Dependiendo del tipo de muestra, las ubicaciones adecuadas serían las siguientes: *tolva, pila de almacenamiento, cinta transportadora, camión, detrás de la pavimentadora, carril central I91SB, tablero del puente, zapatas*. Esta no es una lista completa de ubicaciones, la ubicación debe ser lo suficientemente descriptiva como para definir claramente de dónde proviene la muestra.

Estación Estación de referencia estándar de la carretera establecida en el emplazamiento del proyecto (*Sta.134+50*).

Desplazamiento Desplazamiento, a la derecha o a la izquierda de la línea base de la estación del proyecto (*4 m a la izquierda*).

Clave de la sección del pie de página del formulario del informe de prueba

Comentarios Comentarios sobre cualquier aspecto relacionado con la toma o el análisis de la muestra.

Analizado por Nombre de la persona que realizó el análisis o los análisis de la muestra.

N.º de certificación Número de certificación de la persona que realizó el análisis o los análisis de la muestra.

Fecha Fecha en la que se realizaron los análisis.

Revisado por Nombre de la persona que ha revisado los resultados de la prueba y es responsable de la aceptación de los resultados.

Certificación n.º Número de certificación de la persona que ha revisado los resultados de la prueba y es responsable de su aceptación.

Fecha Fecha en la que se revisaron los resultados de la prueba

Resultados dentro de los límites especificados Marque la casilla correspondiente para proporcionar un resumen claro de los resultados de la prueba.

Resultados fuera de los límites especificados Marque la casilla correspondiente para proporcionar un resumen claro de los resultados de las pruebas.

Fuentes y combinaciones de colores utilizadas en los formularios de informes de pruebas

Sombreado amarillo y texto negro El texto en negro seguido de celdas sombreadas en amarillo indica que es necesario que el usuario introduzca datos. Toda la información introducida por el usuario se encuentra en celdas sombreadas en amarillo.

Texto azul El texto azul indica cálculos intermedios realizados por la hoja de cálculo.

Texto en rojo y negrita, dentro de un recuadro en negrita El texto en rojo y negrita, dentro de un recuadro en negrita, indica los resultados finales calculados por la hoja de cálculo.

- FIN DEL APÉNDICE G -

APÉNDICE H

Reimpresión de: FHWA RD-02-095
Procedimientos óptimos para especificaciones de garantía de calidad (solo apéndice F)

Método de la prueba *F* y la prueba *t* para comparar dos conjuntos de datos

Introducción

Al comparar dos conjuntos de datos, como los resultados de ensayos del contratista y de la agencia, se realizan dos pruebas de hipótesis, donde la hipótesis nula H_o para cada prueba es que ambos conjuntos de datos provienen de la misma población. En otras palabras, las hipótesis nulas establecen que las variabilidades de los dos conjuntos de datos son iguales (para la prueba *F*) y que las medias de los dos conjuntos de datos son iguales (para la prueba *t*).

Al comparar dos conjuntos de datos, es importante evaluar tanto las medias como las varianzas. Para cada una de estas comparaciones se utiliza una prueba diferente. La **prueba *F*** proporciona un método para comparar las varianzas (el cuadrado de la desviación estándar) de dos conjuntos de datos. Las diferencias en las medias se evalúan mediante la **prueba *t***. Los procesos constructivos y las propiedades de los materiales generalmente siguen una distribución normal. Para distribuciones normales, los cocientes de varianzas siguen una distribución *F*, mientras que las medias de muestras relativamente pequeñas siguen una distribución *t*. Por lo tanto, las pruebas de hipótesis para varianzas y medias iguales pueden realizarse utilizando estas distribuciones.

Para muestras provenientes de la misma población normal, el estadístico *F*, que es el cociente de las varianzas muestrales, tiene una distribución de muestreo denominada distribución *F*. Existen tablas disponibles para la distribución *F*, de manera similar a las de la distribución normal. Para la verificación de procesos, la prueba *F* se basa en el cociente entre la varianza muestral de los resultados de ensayo del contratista, s_c^2, y la varianza muestral de los resultados de ensayo de la agencia, s_a^2.

De manera similar, el estadístico *t* y la prueba *t* pueden utilizarse para verificar si la media muestral de los resultados de ensayo del contratista, $\bar{X}_c$, y la de los resultados de ensayo de la agencia, $\bar{X}_a$, provienen de poblaciones con la misma media.

Las ecuaciones de la prueba *F* y la prueba *t* se presentan de forma conceptual en las secciones siguientes; sin embargo, en la práctica se recomienda utilizar un programa informático para realizar los cálculos. Los programas de hoja de cálculo, como Microsoft® Excel, incluyen tanto pruebas *F* como pruebas *t*. Las agencias también pueden desarrollar sus propios paquetes computacionales. Asimismo, el programa DATATEST, desarrollado para el Proyecto de Demostración 89 de la FHWA, se presenta al final de este apéndice. [18]

Al comparar muestras del contratista y de la agencia, es importante que se haya utilizado **muestreo aleatorio** al obtener las muestras. Además, dado que las fuentes de variabilidad influyen en los parámetros poblacionales, ambos conjuntos de resultados de ensayo deben haberse muestreado durante el **mismo período de tiempo**, y deben haberse aplicado los **mismos procedimientos de muestreo y ensayo**. Si se determina que existe una diferencia significativa, ya sea en las varianzas o en las medias, debe identificarse la fuente de dicha diferencia. La identificación de una diferencia solo indica que esta existe; la causa de la diferencia aún debe ser determinada.

Antes de comparar las muestras del contratista y de la agencia, **debe seleccionarse un nivel de significancia, α**. Aunque son comunes valores de α de 0,10; 0,05 y 0,01, muchas agencias seleccionan un valor de 0,01 para minimizar la probabilidad de concluir incorrectamente que los resultados son diferentes cuando en realidad provienen de la misma población. Sin embargo, debe reconocerse que seleccionar un valor bajo de αreduce la probabilidad de detectar una diferencia real cuando esta efectivamente existe.

Prueba *F* para varianzas muestrales

Dado que los valores utilizados para la prueba *t* dependen de si se asume o no que las varianzas de los dos conjuntos de datos son iguales, es necesario **evaluar primero las varianzas antes de comparar las medias**. El objetivo es determinar si la diferencia en la variabilidad entre los ensayos del contratista y los de la agencia es mayor de lo que podría esperarse por azar si ambos provinieran de la misma población. No importa cuál de las varianzas sea mayor. Luego de comparar los resultados de la prueba F, se llegará a una de las siguientes conclusiones:

- Los dos conjuntos de datos tienen varianzas diferentes, porque la diferencia entre ambos conjuntos de resultados de ensayo es mayor de lo que probablemente ocurriría por azar si las varianzas fueran realmente iguales.

- No existe razón para creer que las varianzas sean diferentes, ya que la diferencia no es lo suficientemente grande como para ser improbable que haya ocurrido por azar si las varianzas fueran iguales.

Pasos involucrados en la prueba *F*

El primer paso consiste en calcular la varianza de los ensayos del contratista, s_c^2, y la de los ensayos de la agencia, s_a^2. Luego se utiliza la ecuación simple de razón para calcular *F*, donde $F = s_c^2/s_a^2$ o $F = s_a^2/s_c^2$. *Siempre debe colocarse la mayor de las varianzas en el numerador, de modo que la razón sea mayor que 1.*

A continuación, se selecciona α, el nivel de significancia de la prueba. Para esta discusión se utiliza α=0,01.

El siguiente paso es determinar el valor crítico de *F*, F_{crit}, a partir de la tabla *F* (véase la tabla 35 al final de este apéndice), para el nivel de significancia seleccionado y utilizando los grados de libertad $(n-1)$ asociados a cada conjunto de resultados de ensayo. De este modo, los grados de libertad asociados con la varianza del contratista, s_c^2, son (n_c-1), y los grados de libertad asociados con la varianza de la agencia, s_a^2, son (n_a-1). Los valores de esta tabla *F* están tabulados para evaluar si existe una diferencia (ya sea mayor o menor) entre las dos estimaciones de varianza. Esto se conoce como una prueba bilateral o de dos colas. Debe tenerse cuidado al utilizar otras tablas de la distribución F, ya que generalmente están basadas en una prueba unilateral, es decir, evalúan si una varianza es mayor que otra. Esto significa que los valores de F_{crit} de la tabla 35 son los mismos que se listarían en el percentil 99,5 % (aunque el percentil 99,0 % normalmente estaría asociado con α=0,01) para una prueba unilateral.

Una vez determinado el valor de F_{crit} a partir de la tabla (asegurándose de utilizar los grados de libertad apropiados para el numerador y el denominador), si $F \geq F_{crit}$, entonces se concluye que los dos conjuntos de ensayos de datos presentan variabilidades significativamente diferentes. Si $F < F_{crit}$, entonces se concluye que no existe razón para creer que las variabilidades sean significativamente diferentes.

Ejemplo de la prueba *F*- Problema 1

Un contratista ha realizado 12 ensayos de contenido de asfalto y la agencia ha realizado 6 ensayos durante el mismo período de tiempo, utilizando los mismos procedimientos de muestreo y ensayo. Los resultados se muestran a continuación. Con base en sus variabilidades, ¿es probable que los ensayos provengan de la misma población?

Tabla 33. Ensayos de contenido de asfalto

Ensayos del contratista	Ensayos de la agencia
6.41	5.42
6.23	5.78
6.08	6.23
6.55	5.38
6.11	5.62
5.97	5.79
6.28	—
6.07	—
5.92	—
5.76	—
6.06	—
5.71	—
$\bar{X} = 6.10$	$\bar{X} = 5.70$
$s_c^2 = 0.061$	$s_a^2 = 0.097$

Utilice la prueba F para determinar si se debe o no asumir que la varianza de los ensayos del contratista difiere de la varianza de los ensayos de la agencia.

Paso 1. Calcular la varianza, s^2, para cada conjunto de ensayos:

$$s_c^2 = 0.061 \qquad s_a^2 = 0.097 \qquad (44,45)$$

Paso 2. Calcular F: $$F = \frac{s_a^2}{s_c^2} = \frac{0.097}{0.061} = 1.59 \qquad (46)$$

Paso 3.

Determinar el valor crítico F_{crit} a partir de la tabla de la distribución *F*, asegurándose de utilizar los grados de libertad correctos para el numerador $(n_a - 1 = 6 - 1 = 5)$ y para el denominador $(n_c - 1 = 12 - 1 = 11)$. De la tabla 35, se obtiene, $F_{crit} = 6.42$.

Conclusión:

Dado que $F<F_{crit}$(es decir, $1.59 < 6.42$), no existe razón para creer que los dos conjuntos de datos presenten variabilidades diferentes. Por lo tanto, es posible que ambos provengan de la misma población.

Ejemplo de problema F problema 2

Una contratista ha realizado 10 pruebas de vacíos de aire a partir de núcleos y la agencia ha realizado 5 pruebas de vacíos de aire durante el mismo período de tiempo utilizando el mismo procedimiento de muestreo y prueba. Los resultados se muestran a continuación. Basándose en sus variabilidades, ¿es probable que las pruebas provengan de la misma población?

Tabla 34. Prueba de vacío de aire

Contractor Tests	Agency Tests
6.42	7.52
7.18	11.38
5.04	9.20
4.56	5.32
7.12	3.18
7.98	—
6.32	—
6.08	—
5.92	—
5.78	—
$\overline{X} = 6.24$	$\overline{X} = 7.32$
$s_c^2 = 1.036$	$s_c^2 = 10.299$

Paso 1. Calcular la varianza, s^2, para cada conjunto de pruebas.

$$s_c^2 = 1.036 \qquad s_c^2 = 10.299 \qquad (47, 48)$$

Paso 2. Calcular N: $$F = \frac{s_a^2}{sc^2} = \frac{10.299}{1.036} = 9.94 \qquad \textbf{(49)}$$

Paso 3. Determine N a partir de la tabla de distribución N, asegurándose de utilizar los grados de libertad de *la torreta para el numerador (n* — 1 = 5 — I = 4) y el denominador (n — 1 = 5 — I = 4). grados de libertad para el numerador (n — 1 = 5 — I = 4) y el denominador {*n* — 1 — 10 — 1 = 9). De la tabla 35, *Fq* — 7,96.

Conclusión. Dado que F > *F cript* (es decir, 9,94 > 7,96), es poco probable que las dos medias procedan de la misma población. Por lo tanto, se concluye que el contratista y la agencia son diferentes.

Prueba T para medias muestrales

Una vez que se han comprobado las variaciones y se ha asumido que son iguales o desiguales, se pueden comprobar las medias de los resultados de la prueba para determinar si difieren entre sí o si se puede asumir que son iguales. El objetivo es determinar si es razonable suponer que las pruebas del contratista proceden de la misma población que las pruebas **de la agencia**. **Se** utiliza **una prueba r** para **comparar** las medias muestrales. Se necesitan dos enfoques para la prueba-T. Si la muestra

Se supone que las varianzas son iguales (ejemplo de prueba F 1 arriba), entonces la prueba T se realiza basándose en las dos muestras utilizando una estimación **combinada** para la varianza y los grados de libertad **combinados**. Este enfoque se describe en el ejemplo 1 de la prueba T que se muestra a continuación. Si se supone que las varianzas de las muestras son diferentes (ejemplo de prueba F 2 anterior), entonces se realiza la prueba f utilizando las varianzas de las muestras individuales, los tamaños de las muestras individuales y los grados de libertad **efectivos** (estimados a partir de las varianzas y los tamaños de las muestras). Este enfoque se describe en el ejemplo de prueba f 2 a continuación.

En cualquiera de los dos casos comentados en el párrafo anterior, se toma una de las siguientes decisiones.

- Los dos conjuntos de datos tienen medias diferentes porque la diferencia entre las medias muestrales es mayor de lo que cabría esperar por casualidad si sus medias fueran realmente iguales.
- No hay motivos para creer que las medias sean diferentes, ya que la diferencia entre las medias muestrales no es tan grande como para que sea improbable que se deba al azar, ya que las medias son en realidad iguales.

Conceptualmente, para la prueba I, en la que las **varianzas de las muestras son iguales,** la ecuación utilizada para calcular el valor f divide la diferencia entre dos medias por la desviación estándar combinada. La desviación estándar combinada es la raíz cuadrada de la varianza combinada, que es la media ponderada de las dos varianzas, utilizando los grados de libertad de cada muestra como factor de ponderación. (De nuevo, conceptualmente, esto es similar a la ecuación Z, en la que la diferencia entre la media y un punto de interés se expresa en unidades de desviación estándar. Pero debido a que se utilizan muestras de tamaño pequeño, se utiliza la distribución i).

Para determinar el valor crítico, cript t, con el que se compara el valor / calculado, es necesario seleccionar el nivel de significación, α. Una vez más, se recomienda un valor de α = 0,01. A continuación, se obtiene el valor crítico T, de la tabla t (véase la tabla 36 al final de este apéndice) para los grados de libertad combinados. Los grados de libertad combinados para el caso en que se supone que las varianzas de la muestra son iguales son (N_c+N_a-2). Si t $\geq$ $t\ cript$ se decide que los dos conjuntos de pruebas tienen medias significativamente diferentes. Si t< $tcript$ se decide que no hay motivos para creer que las medias sean significativamente diferentes.

Ejemplo de prueba T Problema 1: Se supone que las varianzas de las muestras son iguales.

Utilice el ejemplo 1 de la prueba F anterior, en el que un contratista ha realizado 12 pruebas de contenido de asfalto y la agencia ha realizado 6 pruebas durante el mismo periodo de tiempo utilizando los mismos procedimientos de muestreo y prueba. Basándose en sus medias, ¿es probable que las pruebas procedan de la misma población?

Utilice la prueba T para el caso de varianzas iguales (determinada anteriormente en el ejemplo de problema 1 de la prueba F) para determinar si se debe suponer que la media de las pruebas del contratista difiere de la media de las pruebas de la agencia.

En el ejemplo 1 de la prueba F, se determinó que S_c^2= 0,061 y S_a^2= 0,097.

Paso 1. Calcule la muestra $\overline{x}$, para cada conjunto de pruebas.

$$\bar{X}_c = 6.10 \qquad \bar{X}_a = 5.70 \qquad (50, 51)$$

Paso 2. Calcular la varianza combinada, S_p^2 , utilizando las varianzas circulares con las anteriores.

$$s_p^2 = \frac{s_c^2 (n_c - 1) + S_a^2 (n_a - 1)}{n_c + n_a - 2} \qquad (52)$$

$$S_p^2 = \frac{0{,}061(12-1) + 0{,}0{,}97(6-1)}{12+6-2} = 0.072$$

Paso 3. Calcule la estadística r, t, utilizando la ecuación para varianzas iguales.

$$t = \frac{\left|\bar{X}_c - \bar{X}_a\right|}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_c} + \frac{s_p^2}{n_a}}} \qquad (53)$$

$$t = \frac{|6.10 - 5.70|}{\sqrt{\frac{0.072}{12} + \frac{0.072}{6}}} = 2.981$$

Paso 4. Determine el valor crítico T, para el grado de libertad combinado.

Grados de libertad $= (n_c + n_a - 2) = (12 + 6 - 2) = 16.$

Según la tabla 36, para n = 0,01 y 16 grados de libertad, *t critico* =2,921.

Confusión. Dado que 2,981 > 2,921, rechazamos la hipótesis nula y asumimos que las medias muestrales no son iguales. Por lo tanto, asumimos que provienen de diferentes p pulati‹ms. Por lo tanto, concluimos que es poco probable (pero no imposible) que los resultados de las pruebas del contratista y de la agencia representen el mismo proceso. En otras palabras, las pruebas de la agencia no verifican las pruebas del contratista.

Problema de ejemplo de la prueba f 2: Se supone que las varianzas de las muestras son diferentes.

En el ejemplo 2 de la prueba N anterior, en el que un contratista ha realizado 10 pruebas de vacíos de aire a partir de curados y la agencia ha realizado 5 pruebas durante el mismo período de tiempo utilizando el mismo procedimiento de muestreo y prueba. Según sus medios, ¿es probable que las pruebas provengan de la misma población?

En el ejemplo del problema 2 de la prueba N, se determinó queS_c^2 = **1,036** y S_a^2 =10,299.

Paso 1. Calcular la media para cada conjunto de pruebas.

$$\overline{X}_c = 6.24 \qquad \overline{X}_a = 7.32 \qquad (54, 55)$$

Paso 2. Calcule la estadística i, r, utilizando la ecuación para varianzas desiguales.

$$t = \frac{\left|\overline{X}_c - \overline{X}_a\right|}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_c} + \frac{s_a^2}{n_a}}} \qquad (56)$$

$$t = \frac{|6.24 - 7.32|}{\sqrt{\frac{1.036}{10} + \frac{10.299}{5}}} = 0.734$$

Paso 3. Determine el valor crítico i, r ,;,, para los grados de libertad efectivos,

$$f' = \frac{\left(\frac{s_c^2}{n_c} + \frac{s_a^2}{n_a}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{s_c^2}{n_c}\right)^2}{n_c + 1} + \frac{\left(\frac{s_a^2}{n_a}\right)^2}{n_a + 1}\right]} - 2 \qquad (57)$$

$$f' = \frac{\left(\frac{1.036}{10} + \frac{10.299}{5}\right)^2}{\left[\frac{\left(\frac{1.036}{10}\right)^2}{10+1} + \frac{\left(\frac{10.299}{5}\right)^2}{5+1}\right]} - 2 = 4.61 \rightarrow 5$$

El valor calculado para los grados efectivos de libertad se redondea al entero más cercano que se ajusta a este ejemplo. El valor crítico también podría obtenerse mediante interpolación o truncando al entero más bajo. Esta ecuación es una aproximación y no existe un método universalmente aceptado para llegar a los grados efectivos de libertad. En general, redondear a un valor menor para ‹regresión de la libertad) da un valor crítico mayor, lo que hace menos probable rechazar la hipótesis nula de iguales medios.

Tenga en cuenta que los grados de libertad efectivos valx ror son menores de los que se habrían utilizado si se hubiera supuesto que las variaciones eran iguales.

De la tabla t, tabla 36, para α = 0,01 y 5 grados de libertad, T cript= 4,032.

Conclusión: Dado que 0,734 < 4,0:32, no hay razón para rechazar la hipótesis de que las medias son iguales. Por lo tanto, asumimos que es posible (pero no seguro) que provengan de la misma población.

Nota: La diferencia entre las medias muestrales es mayor en este ejemplo (7,32 - 6,24 = 1,88) que en el ejemplo anterior (6,10 - 5,70 = **0,40).** Sin embargo, en el ejemplo anterior se concluyó que las medias eran diferentes, mientras que en este ejemplo no se concluyó que las medias eran diferentes. La mayor proporción de valores de varianza en este ejemplo es la razón por la que no fue posible concluir que las medias eran diferentes.

Programas informáticos para los cálculos de la prueba A y la prueba z

Como se puede observar en los ejemplos, los cálculos necesarios pueden ser bastante complejos y llevar mucho tiempo. Esto introduce la posibilidad de que se produzcan errores humanos.

Uso de Microsoft Excel.

Como se ha señalado anteriormente, los programas de hojas de cálculo como Microsoft Excel suelen tener funciones integradas para realizar pruebas y-t y f-t. Estas pruebas pueden ser realizadas por cualquier persona con conocimientos básicos sobre el uso de las funciones de las hojas de cálculo. Excel tiene una función para realizar pruebas N. Excel también puede realizar pruebas f pareadas, así como pruebas f de dos muestras para los casos de varianzas iguales y desiguales.

Para ilustrar el uso de hojas de cálculo para realizar pruebas ***F*** y t, se utilizó Excel para comparar los conjuntos de datos utilizados en el ejemplo 1 anterior. Los párrafos siguientes muestran los pasos necesarios para utilizar Excel en estos cálculos.

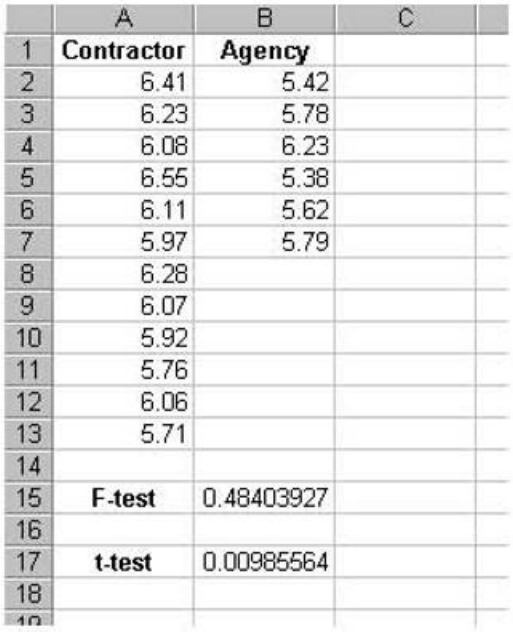
El primer paso es introducir los datos del contratista y de la agencia en dos columnas diferentes de Excel. Los datos de este ejemplo se muestran en la figura 48.

A continuación, se realiza la prueba f antes de la prueba i. Esto se hace utilizando la función Exrel

FTEST(matriz1,matriz2)

donde: array1 es la matriz que representa un conjunto de datos array2 es la matriz que representa el otro conjunto de datos.

Para el ejemplo de la figura 48, los datos del contratista se encuentran en arrayl y se introducen como A2:AI3, mientras que los datos de la agencia se encuentran en array,2 y se introducen como B2:B7. La fórmula que se introduce en la celda BU es, por lo tanto, =FTEST(A2:A13,B2:B7).



	A	B	C
1	**Contractor**	**Agency**	
2	6.41	5.42	
3	6.23	5.78	
4	6.08	6.23	
5	6.55	5.38	
6	6.11	5.62	
7	5.97	5.79	
8	6.28		
9	6.07		
10	5.92		
11	5.76		
12	6.06		
13	5.71		
14			
15	**F-test**	0.48403927	
16			
17	**t-test**	0.00985564	
18			

«

Figura 48. Resultados de Excel a partir de los datos del ejemplo del problema 1

La prueba que realiza Excel es una prueba F unilateral. El valor que se muestra en la celda B15 es la probabilidad de obtener un valor F tan grande como el de estos conjuntos de datos si los dos conjuntos de datos tienen la misma varianza. En otras palabras, cuanto menor sea el valor de probabilidad devuelto por esta función, menos probable es que los dos conjuntos de datos tengan la misma varianza. Por ejemplo, si el nivel de significación para la prueba se seleccionara como 0,05, para una prueba de una cola rechazaria la suposición de ganancias iguales siempre que el valor de probabilidad que devuelve la función sea menor que 0,05.

Para comparar los resultados de la función FTEST con los valores críticos de la tabla 35, que se basa en una prueba F de dos caras y un - 0,01, por lo tanto, rechazaría la suposición de variaciones iguales cada vez que la función FTEST de Excel devuelva un valor de probabilidad inferior a 0,005. La figura 48 muestra que, para los datos de ejemplo, la función FEST devuelve un valor de probabilidad de 0,484
Por lo tanto, la conclusión sería asumir que las variaciones son iguales.
Una vez que se conozcan los resultados de la prueba F, la prueba t se puede realizar utilizando la función Excel

TTEST (array 1, amray2, colas, tipos

Array 1 es la matriz que representa un conjunto de datos. Array 2 es la matriz que representa el otro conjunto de datos. Tails es 1 para una prueba unilateral o 2 para una prueba bidireccional
El tipo es 1 para una prueba t emparejada, 2 para una prueba t de varianza igual y 3 para una prueba desigual

Para el ejemplo de la figura 48, los datos del contratista están en arrayl, y se introducen como A2:A13, mientras que los datos de la agencia están en array2 y se introducen como B2:B7. Dado que se desea una de dos colas, las colas se introducen como 2 y, dado que desde la prueba F se aseguró que las variaciones fueran iguales, el tipo se introduce como 2. Por lo tanto, la función que se introduce en la célula B17 es
-TTEST(A2:A13,B2:B7,2,2). La figura 48 muestra que para los datos de ejemplo, la función TEST devuelve un valor de probabilidad de 0,00986.
Por lo tanto, en el nivel de significación de a - 0,01, la conclusión seria asumir que los promedios no son iguales, ya que el valor de probabilidad es inferior a 0,01.
En suma, Excel se puede utilizar para realizar la prueba F y la prueba en los conjuntos de datos del Problema del Ejemplo 2 anterior. Esto se ilustra en la figura 49.

	A	B	C
1	**Contractor**	**Agency**	
2	6.42	7.52	
3	7.18	11.38	
4	5.04	9.2	
5	4.56	5.32	
6	7.12	3.18	
7	7.98		
8	6.32		
9	6.08		
10	5.92		
11	5.78		
12			
13	**F-test**	0.00465863	
14			
15	**t-test**	0.49995598	
16			

Figura 49. Resultados de Excel para los datos del problema 2

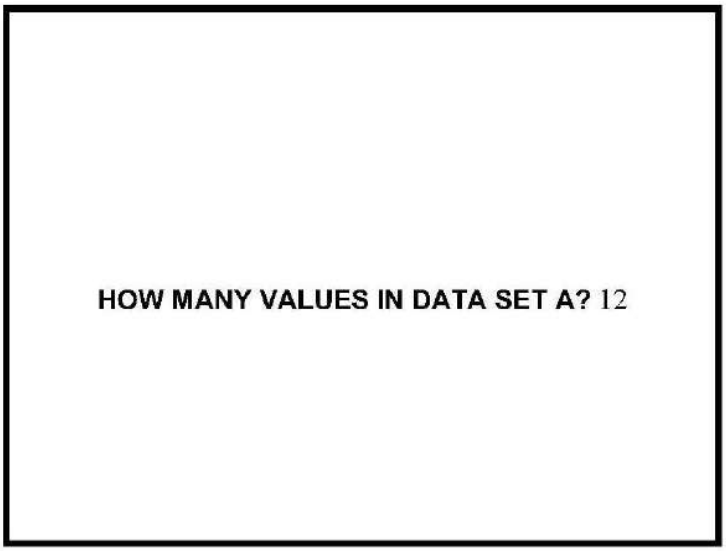
Los resultados de la figura 49 (ver celda B13) indican que se supone que las varianzas no son iguales. Esto significa que la entrada de tipo para la función TEST será 3, para una prueba t de varianza desigual. La entrada de colas seguirá siendo 2 para una prueba de dos colas. Los resultados de la figura 49 (ver celda B15) indican que las medias están aseguradas de ser iguales, ya que la probabilidad en la celda B15 es mucho mayor que la
Nivel de significación de un - 0,01.

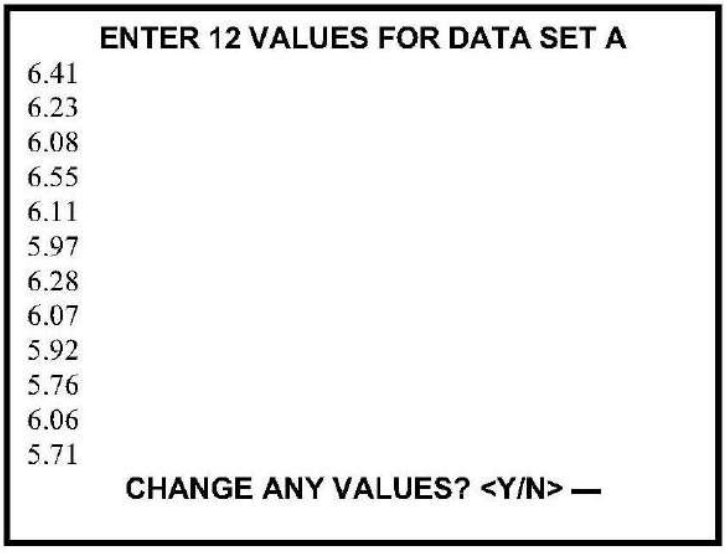
Usando el programa DATATEST

Otro programa de software que se puede utilizar para realizar comparaciones de pruebas F y pruebas t es el
Proyecto de demostración PHWA No. 89 programa DATATEST. (18) Este programa demuestra cuán simplemente las pruebas F y las pruebas t se pueden realizar con un ordenador personal. Para ilustrar esto, el El programa DATATEST se utilizó para comparar los conjuntos de datos utilizados en los problemas de ejemplo anteriores. Para ilustrar el uso del programa, las pantallas de entrada y salida de estos ejemplos se presentan en las figuras que comienzan en la página siguiente.

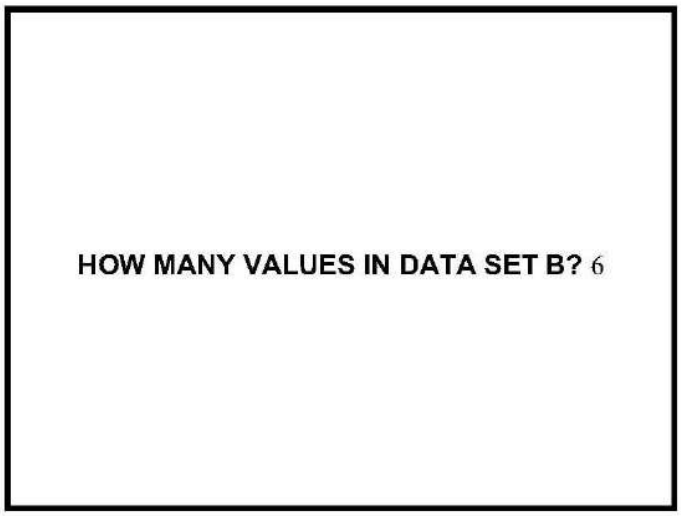
Pantallas DATATEST para los datos del ejemplo del problema 1

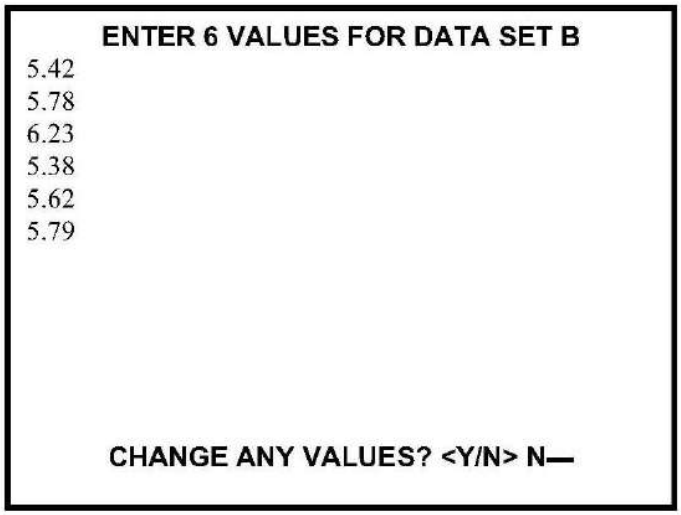
El programa primero solicita el número de valores y luego permite al usuario introducir los valores para el primer conjunto de datos.


HOW MANY VALUES IN DATA SET A? 12

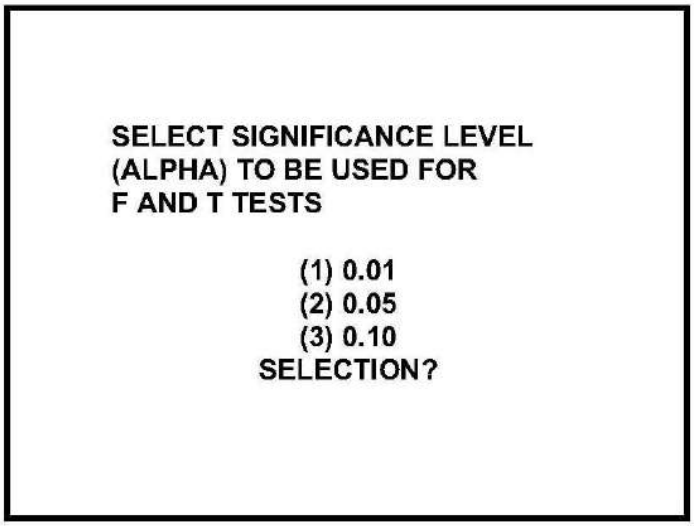

ENTER 12 VALUES FOR DATA SET A
6.41
6.23
6.08
6.55
6.11
5.97
6.28
6.07
5.92
5.76
6.06
5.71
CHANGE ANY VALUES? <Y/N> —

A continuación, el programa solicita el número de valores y permite al usuario *introducir* los valores del segundo conjunto de datos.

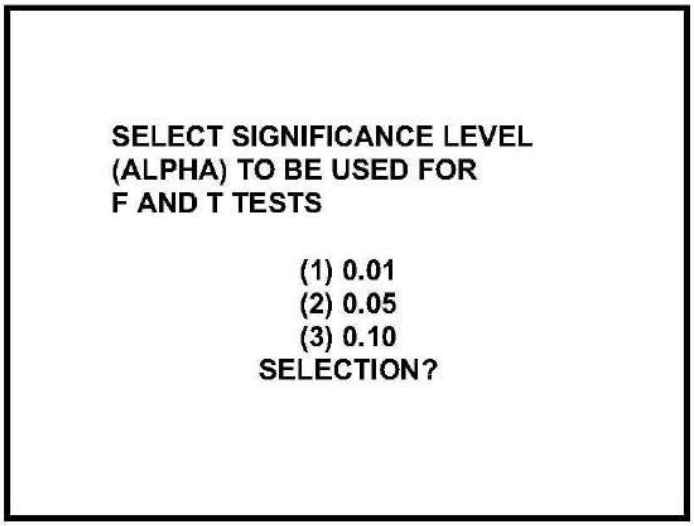




A continuación, el programa solicita al usuario que seleccione un nivel de significación, n.



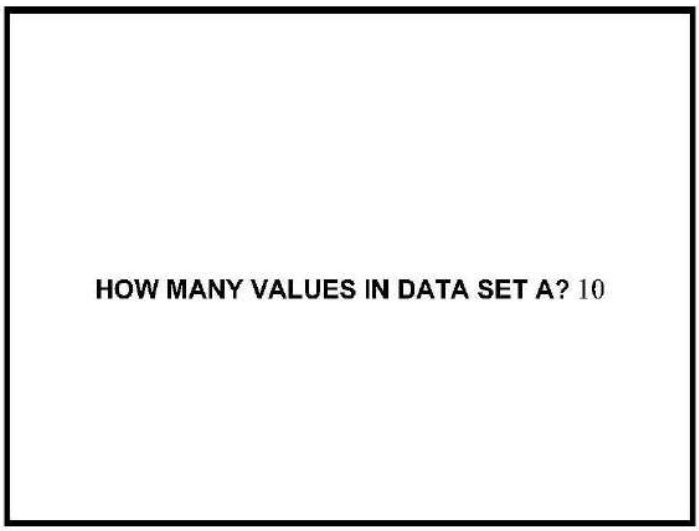
Por último, el programa realiza la prueba N y, a continuación, basándose en los resultados de la prueba I, la forma adecuada de la prueba I, muestra los resultados.

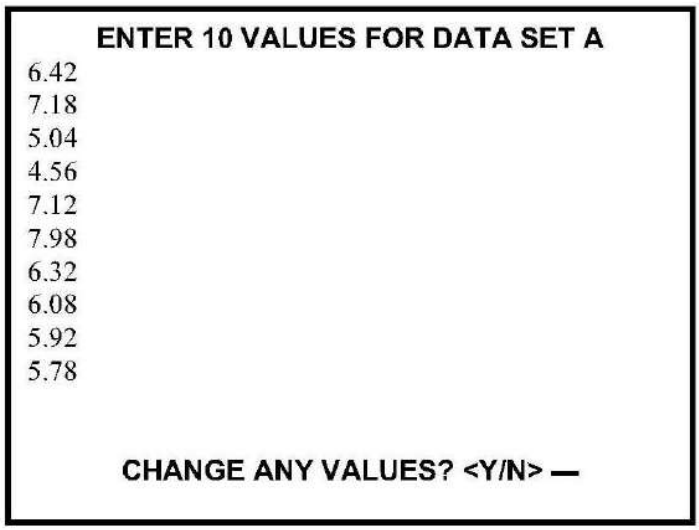


Los valores obtenidos por el programa DATATEST coinciden con los calculados en el ejemplo 1 anterior. La ligera diferencia en el valor *t* calculado se debe al número de decimales utilizados en el cálculo de la computadora. Los resultados del programa DATATEST, es decir, las varianzas no consideradas diferentes y las medias consideradas diferentes, coinciden con los del ejemplo 1.

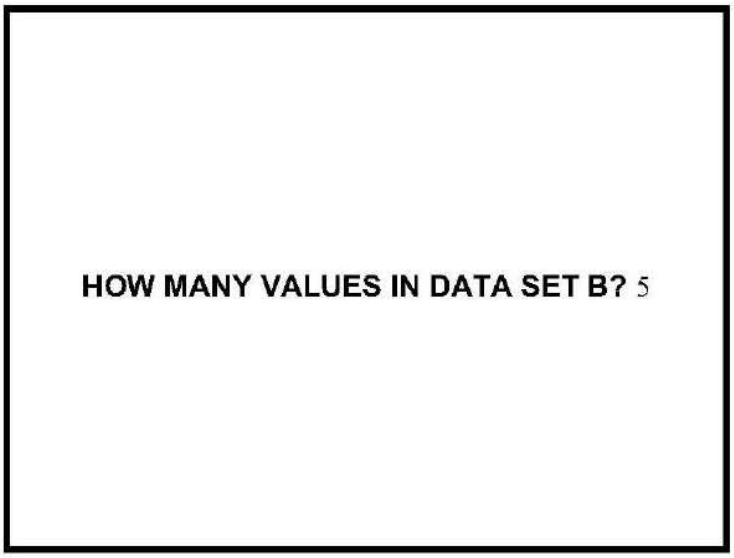
Pantallas de DATATEST para los datos del ejemplo del problema 2

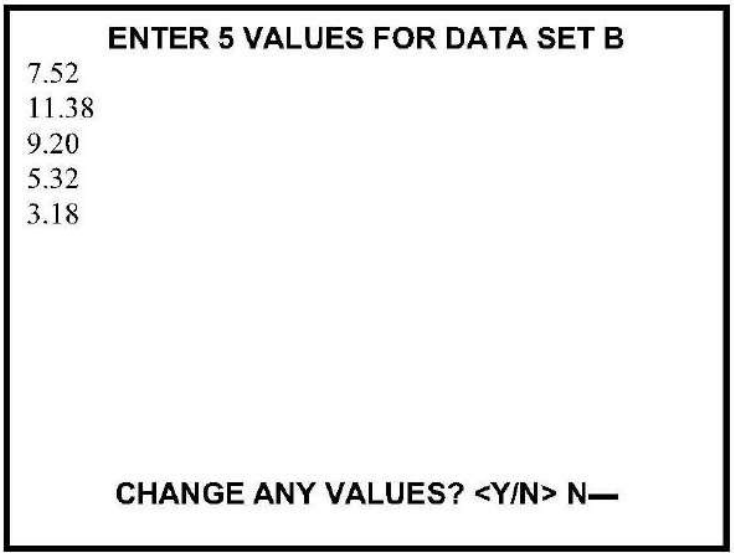
El programa solicita primero el número de valores y, a continuación, permite al usuario introducir los valores del primer conjunto de datos



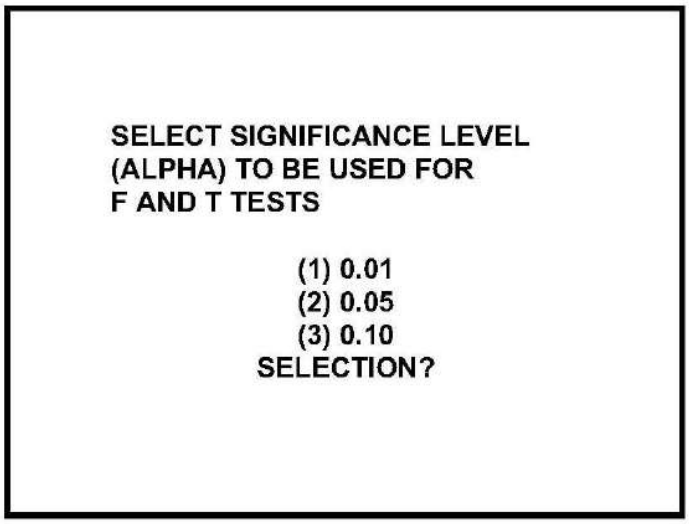


A continuación, el programa solicita el número de valores y permite al usuario introducir los valores del segundo conjunto de datos.

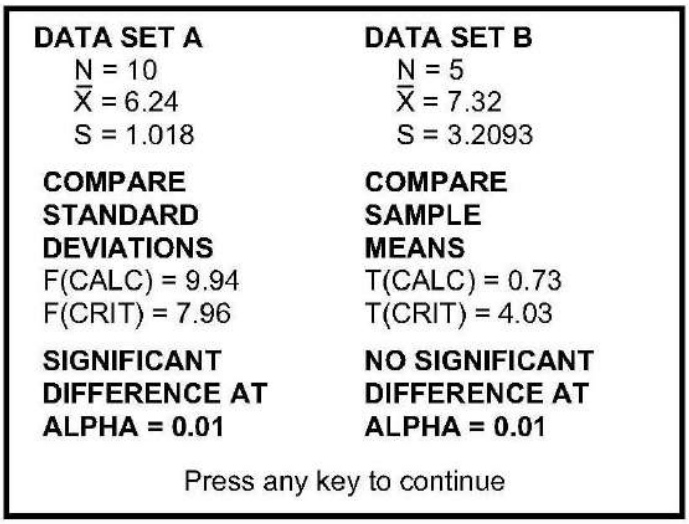




A continuación, el programa solicita al usuario que seleccione un nivel de significación, n.



Por último, el programa realiza la prueba N y, a continuación, basándose en los resultados de la prueba N, la forma adecuada de la prueba i, y muestra los resultados.



Los valores obtenidos por el programa DATATEST son coherentes con los calculados en el ejemplo 2 anterior. Los resultados del programa DATATEST, es decir, las varianzas se consideran diferentes y las medias no se consideran diferentes, son coherentes con los del ejemplo 2.

Table 35. Critical Values, F_{crit}, for the F–test for a Level of Significance, $\alpha = 0.01$ [1]

DEGREES OF FREEDOM FOR NUMERATOR

DEGREES OF FREEDOM FOR DENOMINATOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16200	20000	21600	22500	23100	23400	23700	23900	24100	24200	24300	24400
2	198	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199
3	55.6	49.8	47.5	46.2	45.4	44.8	44.4	44.1	43.9	43.7	43.5	43.4
4	31.3	26.3	24.3	23.2	22.5	22.0	21.6	21.4	21.1	21.0	20.8	20.7
5	22.8	18.3	16.5	15.6	14.9	14.5	14.2	14.0	13.8	13.6	13.5	13.4
6	18.6	14.5	12.9	12.0	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	10.1	10.0
7	16.2	12.4	10.9	10.0	9.52	9.16	8.89	8.68	8.51	8.38	8.27	8.18
8	14.7	11.0	9.60	8.81	8.30	7.95	7.69	7.50	7.34	7.21	7.10	7.01
9	13.6	10.1	8.72	7.96	7.47	7.13	6.88	6.69	6.54	6.42	6.31	6.23
10	12.8	9.43	8.08	7.34	6.87	6.54	6.30	6.12	5.97	5.85	5.75	5.66
11	12.2	8.91	7.60	6.88	6.42	6.10	5.86	5.68	5.54	5.42	5.32	5.24
12	11.8	8.51	7.23	6.52	6.07	5.76	5.52	5.35	5.20	5.09	4.99	4.91
15	10.8	7.70	6.48	5.80	5.37	5.07	4.85	4.67	4.54	4.42	4.33	4.25
20	9.94	6.99	5.82	5.17	4.76	4.47	4.26	4.09	3.96	3.85	3.76	3.68
24	9.55	6.66	5.52	4.89	4.49	4.20	3.99	3.83	3.69	3.59	3.50	3.42
30	9.18	6.35	5.24	4.62	4.23	3.95	3.74	3.58	3.45	3.34	3.25	3.18
40	8.83	6.07	4.98	4.37	3.99	3.71	3.51	3.35	3.22	3.12	3.03	2.95
60	8.49	5.80	4.73	4.14	3.76	3.49	3.29	3.13	3.01	2.90	2.82	2.74
120	8.18	5.54	4.50	3.92	3.55	3.28	3.09	2.93	2.81	2.71	2.62	2.54
∞	7.88	5.30	4.28	3.72	3.35	3.09	2.90	2.74	2.62	2.52	2.43	2.36

[1] **NOTE:** This is for a **two-tailed test** with the null and alternate hypotheses shown below:

$$H_0: s_c^2 = s_a^2$$
$$H_a: s_c^2 \neq s_a^2$$

Garantía de calidad en la construcción de infraestructuras de transporte

Table 35. Critical Values, F_{crit}, for the F–test for a Level of Significance, $\alpha = 0.01$ [1] *(continued)*

DEGREES OF FREEDOM FOR NUMERATOR

DEGREES OF FREEDOM FOR DENOMINATOR	15	20	24	30	40	50	60	100	120	200	500	∞
1	24600	24800	24900	25000	25100	25200	25300	25300	25400	25400	25400	25500
2	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	200
3	43.1	42.8	42.6	42.5	42.3	42.2	42.1	42.0	42.0	41.9	41.9	41.8
4	20.4	20.2	20.0	19.9	19.8	19.7	19.6	19.5	19.5	19.4	19.4	19.3
5	13.1	12.9	12.8	12.7	12.5	12.5	12.4	12.3	12.3	12.2	12.2	12.1
6	9.81	9.59	9.47	9.36	9.24	9.17	9.12	9.03	9.00	8.95	8.91	8.88
7	7.97	7.75	7.65	7.53	7.42	7.35	7.31	7.22	7.19	7.15	7.10	7.08
8	6.81	6.61	6.50	6.40	6.29	6.22	6.18	6.09	6.06	6.02	5.98	5.95
9	6.03	5.83	5.73	5.62	5.52	5.45	5.41	5.32	5.30	5.26	5.21	5.19
10	5.47	5.27	5.17	5.07	4.97	4.90	4.86	4.77	4.75	4.71	4.67	4.64
11	5.05	4.86	4.76	4.65	4.55	4.49	4.45	4.36	4.34	4.29	4.25	4.23
12	4.72	4.53	4.43	4.33	4.23	4.17	4.12	4.04	4.01	3.97	3.93	3.90
15	4.07	3.88	3.79	3.69	3.59	3.52	3.48	3.39	3.37	3.33	3.29	3.26
20	3.50	3.32	3.22	3.12	3.02	2.96	2.92	2.83	2.81	2.76	2.72	2.69
24	3.25	3.06	2.97	2.87	2.77	2.70	2.66	2.57	2.55	2.50	2.46	2.43
30	3.01	2.82	2.73	2.63	2.52	2.46	2.42	2.32	2.30	2.25	2.21	2.18
40	2.78	2.60	2.50	2.40	2.30	2.23	2.18	2.09	2.06	2.01	1.96	1.93
60	2.57	2.39	2.29	2.19	2.08	2.01	1.96	1.86	1.83	1.78	1.73	1.69
120	2.37	2.19	2.09	1.98	1.87	1.80	1.75	1.64	1.61	1.54	1.48	1.43
∞	2.19	2.00	1.90	1.79	1.67	1.59	1.53	1.40	1.36	1.28	1.17	1.00

[1] **NOTE:** This is for a **two-tailed test** with the null and alternate hypotheses shown below:

$$H_0: s_c^2 - s_a^2$$
$$H_a: s_c^2 \neq s_a^2$$

Tabla 3G. Valores críticos, tcript, para la prueba t

Degrees of Freedom	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
1	63.657	12.706	6.314
2	9.925	4.303	2.920
3	5.841	3.182	2.353
4	4.604	2.776	2.132
5	4.032	2.571	2.015
6	3.707	2.447	1.943
7	3.499	2.365	1.895
8	3.355	2.306	1.860
9	3.250	2.262	1.833
10	3.169	2.228	1.812
11	3.106	2.201	1.796
12	3.055	2.179	1.782
13	3.012	2.160	1.771
14	2.977	2.145	1.761
15	2.947	2.131	1.753
16	2.921	2.120	1.746
17	2.898	2.110	1.740
18	2.878	2.101	1.734
19	2.861	2.093	1.729
20	2.845	2.086	1.725
21	2.831	2.080	1.721
22	2.819	2.074	1.717
23	2.807	2.069	1.714
24	2.797	2.064	1.711
25	2.787	2.060	1.708
26	2.779	2.056	1.706
27	2.771	2.052	1.703
28	2.763	2.048	1.701
29	2.756	2.045	1.699
30	2.750	2.042	1.697
40	2.704	2.021	1.684
60	2.660	2.000	1.671
120	2.617	1.980	1.658
∞	2.576	1.960	1.645

NDTE: Esto es para una prueba de dos colas con los valores de tracción y torsión que se muestran a continuación:

$$H_0: \overline{X}_c = \overline{X}_a$$
$$H_a: \overline{X}_c \neq \overline{X}_a$$

- FIN DEL APÉNDICE H -